

MPO der präskriptiven Formeln NAL-NL2 und DSL v5.0 im Herstellervergleich

Bachelorarbeit

vorgelegt beim Fachbereich Augenoptik und Hörakustik
der Hochschule Aalen - Technik und Wirtschaft
in Aalen

von

Birk Schöberlein

aus Bad Hersfeld

Matrikelnummer 30086

Betreuer der wissenschaftlichen Arbeit

Prof. Dr. Annette Limberger

B.Sc. Bernhard Buschle

Aalen 2013

Abstract

Ziel dieser Arbeit ist es, die herstellerspezifische Umsetzung der präskriptiven Formeln NAL-NL2 und DSL v5.0 bezogen auf die MPO an drei ausgewählten Geräten in zwei simulierten Patientenfällen einer cochleären Schwerhörigkeit zu vergleichen. Die maximale Schalldruckpegelleistung für tone burst Signale werden über die Messboxmessung am Kuppler und am Kemar im Freifeld für das Antaro Mini mit Tragehaken von Hansaton Akustik, das Bolero Q90 von Phonak und dem Alta Mini HDO 85 von Oticon untersucht. Die Messwerte der Kupplermessung zeigen keine eindeutige Normalverteilung und signifikante Unterschiede innerhalb der Formel mit dem spezifischen Hörverlust zwischen den Hörgeräten.

Mit dem Ziel die Restdynamik des Hörgeschädigten mit Hörgeräten maximal auszunutzen, stellt das Bolero für NAL-NL2 und DSL v5.0, für beide Hörverluste die meiste Dynamik bereit. Für DSL v5.0 ist die Abweichung der MPO geringer bezogen auf die Unbehaglichkeitsschwelle als NAL-NL2.

Für NAL-NL2 zeigt das Antaro die geringsten Unterschiede von -11,5 dB bis 0,5 dB bei 500 Hz und 3 kHz zur 80 Isophone für den Hochtonsteilabfall, Das Bolero und Alta überschreiten sie bis zu 31,5 dB bei 3 kHz. Die DSL Zielwerte werden mit einer gemittelten Abweichung des Bolero von -0,96 dB für den Hochtonsteilabfall und -0,13 dB für den Hochtonschrägabfall vor dem Antaro mit -1,37 dB / -2,94 dB und dem Alta mit -6,31 dB / -3,30 dB unterschritten.

Alle diese Ergebnisse zeigen, dass die Hersteller die präskriptiven Formeln abgeändert haben und weitere Erkenntnisse hinzugefügt haben. NAL-NL2 und DSL v5.0 sind Hörgeräte unabhängige Formeln, d.h. unter optimalen Bedingungen sollten die Hörgeräte gleiche MPO Begrenzungen für die gleiche Formel und Hörverlust aufzeigen. Diese Hypothese wird nicht bestätigt.

Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	2
Abkürzungsverzeichnis	5
1 Einleitung.....	6
1.1 Der Hörverlust	6
1.1.1 Anatomische Grundlagen und Biomechanik	6
1.1.2 Anatomie des Hörverlust	9
1.2 Frequenzspezische Lautheit Isophone	10
1.2 Unbehaglichkeitsschwelle	11
1.3 Pascoe Verfahren.....	13
1.4 Binaurale Lautheitssummation	16
1.5 Technische Umsetzung der Begrenzung	16
1.5.1 Digitale Lösung der Pegelbegrenzung	17
1.5.1.1 Kreuzgliedfilter	19
1.5.1.2 Transversalfilter	20
1.5.1.3 HLC.....	20
2 Präskriptive Formeln.....	21
2.1 NAL-NL2	22
2.2 DSL m(i/o)	24
2.2.1 Begrenzung	26
3 Material und Methoden: Empirie.....	28
3.1 Verwendete Geräte	28
3.2 Messreihe 1 (M1)	30
3.3 Messreihe 2 (M2)	31
3.4 Voranpassung der Hörgeräte	32
3.4.1 Antaro mini	32
3.4.2 Phonak Bolero.....	32
3.4.3 Alta Mini	32
3.4.4 Messplan.....	33
3.4.5 Statistik.....	34
4 Ergebnisse.....	34
4.1 NAL-NL2 Hochtonsteilabfall	35
4.1.1 Abweichung der MPO zur UCL in dB HL.....	36
4.1.2 Abweichung der MPO zur 80 Isophone in dB SPL.....	37
4.1.3 Kurvenverlauf Außerhalb der UCL in dB SPL	37
4.2 NAL-NL2 Hochtonschrägabfall.....	39
4.2.1 Abweichung der MPO zur UCL in dB HL.....	40

4.2.2	Abweichung der MPO zur 80 Isophone in dB SPL.....	41
4.2.3	Kurvenverlauf Außerhalb der UCL in dB SPL	41
4.3	DSL v5.0 Hochtonteilabfall	43
4.3.1	Abweichung der MPO zur UCL in dB HL.....	44
4.3.2	Abweichung der MPO zu den DSL Targets in dB SPL.....	45
4.3.3	Kurvenverlauf Außerhalb der UCL in dB SPL	46
4.4	DSL v5.0 Hochtonschrägabfall.....	47
4.4.1	Abweichung der MPO zur UCL in dB HL.....	48
4.4.2	Abweichung der MPO zu den DSL Targets in dB SPL.....	49
4.4.3	Kurvenverlauf Außerhalb der UCL in dB SPL	50
5	Interpretation/Diskussion	51
5.1	NAL-NL2	51
5.1.1	Hochtonteilabfall.....	51
5.1.2	Hochtonschrägabfall.....	52
5.2	DSL v5.0	53
5.2.1	Hochtonteilabfall.....	53
5.2.2	Hochtonschrägabfall.....	53
5.3	Messreihe 2.....	54
6	Resümee	55
	Literaturverzeichnis	56
A	Anhang.....	59
B	Anhang.....	63
	Erklärung.....	66

Abkürzungsverzeichnis

Alta	Alta Mini HDO 85 von Oticon
Antaro	Antaro Mini mit Tragehaken von Hansaton Akustik
Bolero	Bolero Q90 von Phonak
FF	Freifeld
M1	Messreihe 1
M2	Messreihe 2
MPO	Maximaler Ausgangspegel (Maximum pressure output)
OSPL90, SSPL90	Maximale Ausgangsleistung des HG
PLL	Bevorzugte Abhörlautstärke (Preferred listening level)
REAR	Ausgangsschalldruck im Gehörgang mit eingeschalteten Hörsystem (real ear aided response)
Std. Dev.	Standardabweichung
UCL	Unbehaglichkeitsschwelle (Uncomfortable level)
ULC	Maximale Komfortbereich (upper limit of comfort)
ZuBo	Zusatzbohrung

1 Einleitung

Die Hörgerätetechnologie hat sich seit den letzten 30 Jahren stark verändert und weiterentwickelt. Mit ihr ist auch der Anspruch an das Hörsystem durch den Hörgeräteträger und Hörsystemanpasser gestiegen. Der prägnanteste Sprung der Entwicklung war der Einsatz digitaler Signalverarbeitung in den Hörsystemen. Mit ihr war es möglich, den geforderten Verstärkungsbedarf frequenzspezifisch und eingangspegelspezifisch abzubilden. Parallel zu der Hardware wurden die Formeln zur Vorberechnung der Verstärkung weiterentwickelt und spezifischer und flexibler auf die Kundenprofile angepasst. Heute ist das Ziel der Hörsystemanpassung die akustischen Signale in den verbleibenden Dynamikbereich des schwerhörigen Kunden abzubilden. Dies kann entweder über lautheitsbasierende oder über präskriptive Anpassverfahren erreicht werden.

Ziel dieser Arbeit ist es, die herstellerspezifische Umsetzung der präskriptiven Formeln NAL-NL2 und DSL v5.0 bezogen auf die MPO an drei ausgewählten Geräten in zwei simulierten Patientenfällen einer cochleären Schwerhörigkeit zu vergleichen.

1.1 Der Hörverlust

1.1.1 Anatomische Grundlagen und Biomechanik

Nach einer Untersuchung von W. Sohn aus dem Jahre 2001 haben in Deutschland etwa 19 % der Gesamtbevölkerung im Alter von über 14 Jahren keine völlig normale Hörschwelle mehr. Deutlich geringer ist jedoch jener Prozentsatz der Bevölkerung, der eine so fortgeschrittene Schwerhörigkeit hat, dass dadurch eine Behinderung im Alltagsleben besteht. (W.Sohn)

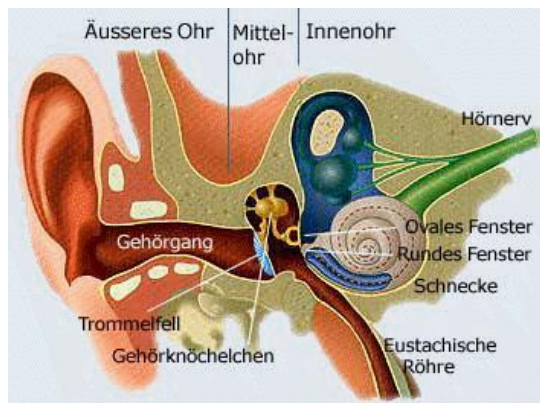


Abb. 1.1: Ohr im Schnitt (Dr. med. Andrea Gontard 2008)

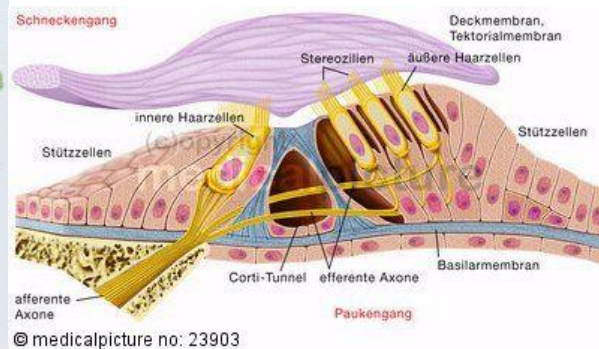


Abb. 1.2: Innenohr Aufbau (Frank Geisler 2010)

Um den Hörverlust und die daraus resultierende Dynamikeinschränkung richtig interpretieren zu können, werden im Folgenden die Grundlagen der Physiologie des Trommelfells und des Corti-Organ dargestellt. Vereinfacht kann man sich das Ohr genauso wie das Auge als Reizwandler vorstellen, es werden akustische Signale in elektrische Impulse transkribiert. Der Schall wird über das Ohr in den Gehörgang geleitet und vom Mittelohr absorbiert. „Im Mittelohr sorgen Trommelfell, Hammer, Amboss und Steigbügel für die Zuleitung des Schalls zum Innenohr, [...]“ (Lehnhardt 2009, S. 27) Nach Lehnhardt transformiert der Impedanzwandler mit einer 20 fachen Verstärkung den Luftschall in Flüssigkeitsschall. Außerdem schützt das Trommelfell das runde Fenster, damit im Innenohr die Wanderwelle entstehen kann. (Lehnhardt 2009, S. 27) Die Verstärkung wird teilweise von der Trägheit der Perilymphe absorbiert. Die Basilarmembran entlang kann somit eine Wanderwelle entstehen die frequenzspezifisch eine maximale Auslenkung bildet. „Die Breite der Basilarmembran beträgt an der Schneckenbasis nur 0,08 mm und selbst am Helikotrema nur 0,5 mm“ (Lehnhardt 2009, S. 36) Somit wird die Basilarmembran zum Helikotrema immer weicher und dämpft zum apikalen Bereich immer stärker. Die Frequenzauflösung fällt in der Frequenz vom basalen zum apikalen Ende. Diese passive Wanderwelle auf der Basilarmembran verhält sich nach Lehnhardt, 2009 linear. Die heutige Laser-Doppler-Vibrometrie bestätigt die Existenz der Wanderwelle, diese verhält sich aber extrem nichtlinear und weist eine Frequenzabstimmung auf, die sich mit der afferenten Neuronen deckt. (Lehnhardt 2009, S. 37) Die Haarzellen innerhalb des Corti-Organ unterscheiden sich in ihrer Funktionsweise, die äußeren Haarzellen sind über wenige efferente Fasern mit dem olivokochleären Bündel verbunden und werden aktiv innerviert,

sie können durch Kontraktion über die bestehenden Verbindungen der Stereozilien mit der Tektorialmembran aktiv Schallreize verstärken oder dämpfen. Die inneren Haarzellen besitzen keine Verbindung zur Tektorialmembran, ihre Zilien werden durch Flüssigkeitsdynamik depolarisiert und leiten die Schallinformation zum ZNS (Lehnhardt 2009, S. 36)

Wie ist es möglich, dass das Ohr eine Dynamik von ca. 120 dB übertragen kann, wenn laut Jürgen Hellbrück „eine Nervenfasern ... einen Dynamikbereich von lediglich 30 bis 40 dB“ (Hellbrück und Ellermeier 2004, S. 111) hat?

Die Forschung geht einerseits von einer internen Verschaltung von äußerer auf innerer Haarzelle aus, die äußeren Haarzellen können dabei aktiv die Dynamik regeln, indem sie den Abstand von der Tektorialmembran zu den inneren Haarzellen variieren. (Hellbrück und Ellermeier 2004, S. 112) „Im Ruhestadium ist dieser Kontakt eng, während bei höheren Schallpegeln eine Abkopplung stattfinden sollte.“ (Hellbrück und Ellermeier 2004, S. 112) somit kann man die äußere Haarzelle als Dynamikkompressor ansehen. Bei niedrigen Schallpegeln wird der Abstand gering, die Stereozilien der inneren Haarzellen werden leichter abgelenkt und somit können leise Signale wahrgenommen werden. Wird das Signal laut, also über 50 dB, erweitert sich der Spalt und die größere mechanische Auslenkung der Basilarmembran zur Tektorialmembran löst ebenfalls Aktionspotentiale aus.

Andererseits lösen lautere Signale nicht nur beim zentralen Maximum der Wanderwelle Aktionspotentiale aus, sondern auch bei nebenstehenden Neuronen, somit wird die Lautheitsempfindung über die Summe der Aktionspotentiale des Hörnervs kodiert. Darüber hinaus spricht Hellbrück von unterschiedlichen Populationen der weiterleitenden Neurone in der Hörbahn, sie unterscheiden sich nach der Spontanaktivität und der Schwellen, wobei geringe Signale Neuronen mit hoher Spontanakzeptanz und geringer Schwellen früher zur Transduktion führen als welche mit mittlerer und geringerer Spontanakzeptanz und höherer Schwellen. (Hellbrück und Ellermeier 2004, S. 139)

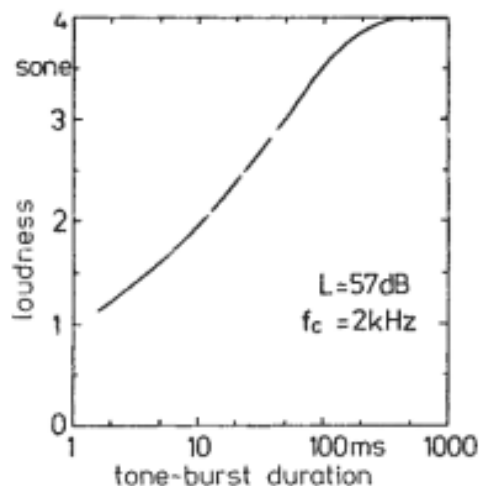
1.1.2 Anatomie des Hörverlust

Laut Hellbrück werden die Haarzellen und das umgebende Gewebe mit Hilfe der cochleäre Kapillare im Ductus cochlearis in der Basilarmembran und der Stria vascularis mit Sauerstoff und Glukose versorgt, auch sondert sie die Ionen für das Potentialgefälle ab. (Hellbrück und Ellermeier 2004, S. 113) Durch Diffusion und aktive Na^+ K^+ Pumpen wird das Ladungsgefälle aufrechterhalten. Laut Lehnhardt und Hellbrück kann die Haarsinneszelle bei Sauerstoffmangel die Glukose zu Milchsäure abbauen, wenn die passive Versorgung durch die Stria vascularis nicht ausreicht. Hält dieser Zustand über längere Zeit an, kann das zur Degeneration der Haarzelle führen, (Lehnhardt 2009, S. 35; Hellbrück und Ellermeier 2004, S. 114) da das Abbauprodukt den osmotischen Druck der Zelle verändern. Durch Wassereinlagerung kann das zu irreparablen Schäden der Zellwand führen, somit können die Zellen bei Überbeanspruchung degenerieren.

Ist das Innenohr lauten Signalen ausgesetzt, z.B. bei Knallen, wird die Basilarmembran sehr stark ausgelenkt. Wird dies über die Grenzen der Belastbarkeit gesteigert, werden die Stereozilien irreparabel abgeknickt und die Zelle verliert auf Grund von Instabilität das Ruhepotential, welches für die Kontraktion des Prestin in der Zelle notwendig ist. „Das schwächste Glied in der mechanischen Kette sind die Stereozilien mit ihren ‚Tip-Links‘; sie können reißen, die Stereozilien können an Steifigkeit verlieren, sie können abreißen oder mit anderen Nachbarstereozilien verklumpen.“ (Lehnhardt 2009, S. 43) Die nichtlineare Kompression der Cochlear geht als Folge verloren. „Setzt diese Verstärkerfunktion aus, kommt es zu einem Kompressionsverlust und als dessen Folge zu einem Rekrutment. Dieses, für die meisten innenohrschwerhörigen Patienten typische, Phänomen besagt, dass als Folge einer veränderten Lautheitsempfindung der Patienten für geringe Lautstärken deutlich schwerhörig ist, große Lautstärken aber fast so laut empfindet wie ein Normalhörender.“ (Lehnhardt 2009, S. 41–42) Nachdem die Verarbeitung der Dynamik für unterschiedliche Eingangspegel betrachtet wurde, wird die Verarbeitung für unterschiedliche Frequenzen aufgezeigt, weil das Ohr für unterschiedliche Frequenzen gleicher physikalischer Pegel, unterschiedliche Lautheitswahrnehmungen erzeugt.

1.2 Frequenzspezische Lautheit Isophone

Die Isophone zeigt den Zusammenhang zwischen Empfindung und Lautstärke an. Die Lautheit ist nach Hellbrück abhängig von Frequenz, Dauer und Intensität. Die Dauer sollte über 200 ms liegen, weil sonst die Lautstärke um 10 dB fällt, wenn sich die Dauer halbiert. Oberhalb des Wertes von 200 ms besteht nur noch der Unterschied in der Intensität und Frequenz der Sinussignale. (Hellbrück und Ellermeier 2004, S. 138)



Fastl et al. geht von einer tone burst Zeit von 100 ms aus weil die Lautheit in Sone nach Abb. 1.3 nach 100 ms nicht mehr ansteigt. Die Hypothese der Lautheits-halbierung von 2 Sone bestätigt er mit der Halbierung der Dauer (Fastl und Zwicker 2007, S. 217)

Abb. 1.3: Abhängigkeit der Lautheit von der Stimuluslänge eines 2 kHz tone Burst (Fastl und Zwicker 2007, S. 217)

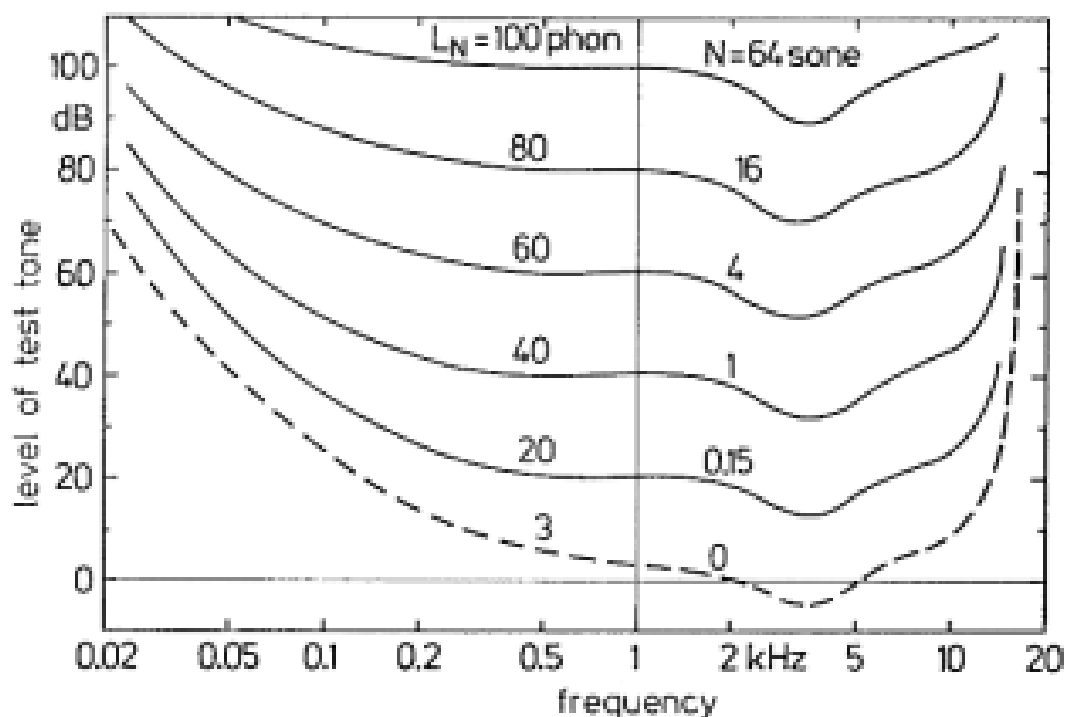


Abb. 1.4: Isophone Lautstärke in Abhängigkeit der Frequenz, mit Sone werten (Fastl und Zwicker 2007, S. 204)

Die Isophone werden auch Kurven gleicher Lautheit genannt, sie beschreiben die frequenzspezifische Lautstärke einer Frequenz zu einer Referenzfrequenz. Die Isophone ist auf 40 dB SPL bei 1 kHz normiert. Für 1 kHz ist Phone = dB SPL. Die Hörschwelle hat 3 Phone und für Tiefe Frequenzen wird grundsätzlich ein höherer Pegel benötigt, aber eine geringere Differenz um an Lautheit zuzugewinnen. Die sensibelste Stelle ist zwischen 2 bis 5 kHz und repräsentiert die Gehörgangsverstärkung. (Fastl und Zwicker 2007, S. 203–205) Das Phone repräsentiert aber nicht den Lautheitsanstieg, dafür wird das Lautheitsmaß Sone eingefügt. Es beschreibt die Verhältnisse linear, es ist auf 40 Phone = 1 Sone mit der Hörschwelle bei 0 Sone festgelegt. (Fastl und Zwicker 2007, S. 205) Das Sone repräsentiert auch wieder die nichtlineare Verstärkung der äußeren Haarzellen, somit ist erkennbar das in Abb. 1.4 im leisen Bereich bis ca. 40 dB oder bis 1 Sone die Empfindung viel stärker anwächst. Ab 40 Phone steigt die Lautheit um den Faktor 2 Pro 10 Phone. (Fastl und Zwicker 2007, S. 206) Ab einer individuellen Lautstärke wird das Messsignal unangenehm laut, wenn die Unbehaglichkeit erreicht wird.

1.2 Unbehaglichkeitsschwelle

Es gibt zwei Unbehaglichkeitsschwellen, die es zu unterscheiden gilt, die erste Unbehaglichkeitsschwelle ist die für schmalbandige Signale wie Sinus oder schmalband Rauschen, Nach Lehnhardt ist sie der Übergang von "noch angenehm laut" zu "zu laut" und liegt um die 100 dB HL. Die Unbehaglichkeitsschwelle eines Hörgeschädigten unterscheidet sich kaum von der eines Hörgesunden (Lehnhardt 2009, S. 58). Die zweite ist die Unbehaglichkeitsschwelle für Mehrsilber, laut Ullrich et al. wird die Unbehaglichkeitsschwelle für Zahlenwörter vor den Diskriminationstest durchgeführt, um die Obergrenze für diese festzulegen. Sie liegt meist 10 dB über der Unbehaglichkeitsschwelle für Töne und wird 10 dB unter der Tonschwelle begonnen zu messen. Unter 100 dB sind 10 dB Schritte, oberhalb von 100 dB 5 dB Schritte sinnvoll. (Ulrich und Hoffmann 2011, S. 248) Die Unbehaglichkeit für Mehrsilber sollte zügig gemessen werden, wird die Unbehaglichkeit erreicht muss sofort die Unterbrechertaste eingesetzt werden. Stimmt das UCL Ergebnis der Mehrsilber nicht mit den 10 dB

über der UCL für Töne überein, muss die Ursache gefunden werden. (Ulrich und Hoffmann 2011, S. 248)

Die UCL ist neben der Hörschwelle die Dynamikgrenze, in der das Hörsystem Signale verstärkt anbieten kann. Wird die UCL überschritten kann es zur Ablehnung des Hörsystems durch den Kunden führen. Die UCL für Töne wird laut Ullrich et al. auf der besseren Seite begonnen, der Audiologe misst in den Frequenzen 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz und 4 kHz. Der konstante Sinus wird 10-20 dB SL angeboten und zügig lauter geregelt, bis der Proband ein Zeichen gibt, oder eine Abwehrreaktion erkennbar ist. Jede Frequenz wird nur einmal gemessen. (Ulrich und Hoffmann 2011, S. 228) Die Unbehaglichkeitsschwelle liegt vor der Schmerzschwelle. „(Welche) durch den Wechsel von akustischer zu taktiler Empfindung in der Tiefe des Ohres gekennzeichnet (ist). (120-130 dB HL)“ (Lehnhardt 2009, S. 58) Aufgrund des kleineren Durchmessers des Gehörgangs haben Frauen eine niedrigere Hör- und Unbehaglichkeitsschwelle als Männer. (Ulrich und Hoffmann 2011, S. 169) Des Weiteren unterscheidet sich die Teststabilität aufgrund von Faktoren wie individuelles Verständnis, die Einweisung, Motivation und Testmethode der UCL Messung, welche die Messergebnisse der UCL zu signifikanten Unterschieden führt. (Popp und Hackett 2002, S. 87) Durch Angst oder Unerfahrenheit wird die UCL bei Neukunden meist zu gering gemessen, bei erfahrenen Hörsystemträgern sind die Messwerte näher an der tatsächlichen UCL. Ist die UCL zu niedrig, kann eine Lautheitsskalierung Klarheit bringen.

„Die UCL legt die MPO (SSPL90) des Hörgerätes fest“ (Popp und Hackett 2002, S. 87) Die Lage der UCL und MCL kann Differentialdiagnostisch bewertet werden. Es kann zwischen cochleärer und retrocochleärer Schwerhörigkeit über den Grad des Rekrutments differenziert werden. Bei cochleärer Schwerhörigkeit ist der Lautheitsausgleich vorhanden, bei retrocochleärer Schwerhörigkeit ist dieser kaum oder nicht vorhanden. Auch kann über eine zu niedrige UCL bei ca. 60 dB SPL eine Hyperakusis oder eine Phonophobie vorliegen (Popp und Hackett 2002, S. 87) „es gibt einen klaren Unterschied zwischen Hyperakusis und Phonophobie. Hyperakusis ist eine manifestierte Intoleranz von mittleren bis lauten Schallereignissen. Phonophobie ist besser beschrieben als eine Angst vor jedem Geräusch, auch bei relativ geringen Intensitäten.“ (Popp und Hackett 2002, S. 89) Pascoe untersucht mit einer Lautheitsskalierung die tatsächliche

Unbehaglichkeitsschwelle in Verbindung zur MCL und Hörschwelle, ob es Zusammenhänge gibt, und wie stark die Schwankungen in der Studie sind.

1.3 Pascoe Verfahren.

Laut Pascoe wurden 508 hörgeschädigte Ohren untersucht um eine Aussage über den Mittelwert der MCL, der UCL und dessen Beziehung zu der Hörschwelle zu finden. Für die Messung werden vier Frequenzen mit Stimuli im Bereich von 0 bis 120 dB HL verwendet. (Pascoe 1988, S. 129) Pascoe Annahmen suchen einerseits nach einem Zusammenhang zwischen der Hörschwelle und der Unbehaglichkeitsschwelle, beziehungsweise der MCL, da die überschwelligen Tests zeitraubend sind und unzuverlässige Aussagen über die MCL erzeugen, hingegen hat die Hörschwellendetektion diese Nachteile nicht. (Pascoe 1988, S. 129–130) Die andere Fragestellung, die Pascoe bearbeitet, ist, ob die präskriptiven Formeln wie die Berger Formel mit ihrer Verstärkung nach der Hälfte des Hörverlustes, POGO mit seiner Korrektur der tiefen Frequenzen sowie NAL die Signale in das Hörfeld, am Besten in den MCL Bereich abbildet. (Pascoe 1988, S. 130) Für die Untersuchung sind die Anpassdaten der letzten vier Jahre des Zentralen Institut für Taube und Hörgeschädigte mit den kompletten Audiometrien vorhanden, aus diesen Daten ergeben sich die Mittelwerte der MCL und UCL in Relation zu dem Hörverlust in den vier Hauptfrequenzen von 500 Hz bis 4 kHz für die Hörverluste von 0 bis 120 dB HL. (Pascoe 1988, S. 131)

PATIENT'S SCALE		TESTER'S SCALE
TOO LOUD!	RED	9
VERY LOUD		8
LOUD		7
OK (LOUDER)	GREEN	6
OK!		5
OK (SOFTER)		4
SOFT	YELLOW	3
VERY SOFT		2
TOO SOFT!		1
NOTHING	WHITE	0

Für die Messung der überschwelligen Lautheit verwendete Pascoe eine Verteilung ähnlich der Lautheits-skalierung. Der Proband hörte Synchron zu einem blinkenden Licht gepulste Töne und konnte diese mit-hilfe eines Druckknopfbretts in 10 Kategorien einteilen. (Pascoe 1988, S. 131)

Abb. 1.5: Lautheitsskalierung der Pascoestudie (Pascoe 1988, S. 131)

Über die signalsynchrone LED und die Taste "Nothing" und "Too Soft" wurde die Hörschwelle ermittelt. Der überschwellige Test bezog sich auf die Farben Gelb, Grün und Rot, war der Ton leiser als die Sprachlautstärke des Testers sollte der Proband eine gelbe Taste drücken, war es angenehm, eine grüne und war es lauter, als der bevorzugte Level, rot. (Pascoe 1988, S. 131) Das Testdesign beginnt mit dem initialen Stimulus leicht oberhalb der Hörschwelle und hebt den Teston in 10 dB Schritten bis der "Too Loud" Knopf gewählt wird. Danach wird der Stimulus auf 5 dB oberhalb des grünen Niveaus gesetzt und wieder erhöht, um den UCL Level einzugrenzen. Die MCL wurde auf den Mittelpunkt der grünen Tasten gesetzt. Die UCL wurde auf den zweifach bestätigten "Too Loud" Level gesetzt (Pascoe 1988, S. 132)

„Die Verteilung der Mittelwerte MCL und UCL Beurteilungen der Hörverluste zeigen keinen signifikanten Frequenzeffekt.“ (Pascoe 1988, S. 135) Nach Pascoe gibt es einen Unterschied im Verlauf der mittleren MCL und UCL im Vergleich zum Hörverlust. Liegt der Hörverlust im Bereich von 0 bis 40 dB HL, liegt die UCL im Bereich von 100 dB HL. Steigt der Hörverlust über diesen Bereich, wächst die UCL im Mittel um 5 dB für jede 10 dB Mehr an HV. (Pascoe 1988, S. 135)

Die MCL steigt um 3,3 dB für einen Zuwachs von 10 dB HV im Bereich von 0 bis 45 dB HV. Ab 45 dB HV steigt sie um 7,5 dB (Pascoe 1988, S. 138)

Table 5. Range of Mean MCL

Pooled data for four
frequencies: 500 to 4000 Hz
(Min. and Max. values are dB HTL)

HL	Min	Max	Range
0	42.5	75.0	32.5
5	52.5	80.0	27.5
10	45.0	82.5	37.5
15	55.0	90.0	35.0
20	50.0	87.5	37.5
25	50.0	95.0	45.0
30	57.5	100.0	42.5
35	55.0	90.0	35.0
40	52.5	100.0	47.5
45	60.0	107.5	47.5
50	65.0	102.5	37.5
55	67.5	107.5	40.0
60	72.5	112.5	40.0
65	77.5	115.0	37.5
70	82.5	117.5	35.0
75	85.0	115.0	30.0
80	87.5	117.5	30.0
85	95.0	117.5	22.5
90	97.5	120.0	22.5
95	107.5	130.0	22.5
100	107.5	127.5	20.0
105	117.5	130.0	12.5
110	117.5	132.5	15.0
115	122.5	132.5	10.0
120	132.5	132.5	----

Total average range = 31.8

Av. Range for 0 to 90 dB HL

(N > than 20) = 35.9

Table 6. Range of Mean UCL

Pooled data for four
frequencies: 500 to 4000 Hz
(Min. and Max. values are dB HTL)

HL	Min	Max	Range
0	70.0	110.0	40.0
5	80.0	110.0	30.0
10	80.0	110.0	30.0
15	80.0	115.0	35.0
20	80.0	115.0	35.0
25	80.0	115.0	35.0
30	85.0	120.0	35.0
35	80.0	120.0	40.0
40	85.0	125.0	40.0
45	85.0	125.0	40.0
50	85.0	130.0	45.0
55	90.0	130.0	40.0
60	90.0	130.0	40.0
65	95.0	130.0	35.0
70	95.0	135.0	40.0
75	100.0	130.0	30.0
80	100.0	130.0	30.0
85	110.0	130.0	20.0
90	115.0	130.0	15.0
95	120.0	145.0	25.0
100	115.0	135.0	20.0
105	125.0	140.0	15.0
110	125.0	140.0	15.0
115	130.0	140.0	10.0
120	140.0	140.0	----

Total average range = 30.8

Average range for 0 to 90 dB HL

(N > than 20) = 34.5

Abb. 1.6: Reichweite der Messergebnisse der gemittelten UCL und MCL in Abhängigkeit des Hörverlustes (Pascoe 1988, S. 138)

Die gemittelte Abweichung liegt bei der MCL bei 31.8 dB und bei der UCL bei 30.8 dB; dies sind gravierende Schwankungen und somit sind die oben genannten linearen Beziehungen nur als Richtwerte anzusehen. Laut Pascoe kann gesagt werden, dass $\frac{2}{3}$ der Population in diese Studie MCLs zeigen, die innerhalb von plus oder minus 7 dB (Durchschnittlicher Std. Dev.) der mittleren MCL der Gruppe liegen, welche meist in den Bereich von der Mitte der Dynamik bis 10 dB darüber liegen. (Pascoe 1988, S. 146) Die Totale Reichweite zeigt nach Pascoe aber zu große Abweichungen, um auf eine Messung zu verzichten, da die Über- oder Unterbewertung bis zu 20 dB betragen kann. Somit ist eine individuelle Messung der UCL und der MCL in einer oder zwei Frequenzen notwendig. (Pascoe 1988, S. 146) Bis jetzt wird nur ein Ohr beobachtet, dieses Modell wird im folgenden Kapitel auf die binaurale Hörleistung erweitert.

1.4 Binaurale Lautheitssummation

Die Binaurale Lautheitssummation beschreibt nach Fastl et al. den Lautheitszuwachs beim Abhören eines Soundereignis von monaural zu binaural (Fastl und Zwicker 2007, S. 311). Der Lautheitszuwachs ist abhängig von der aktuellen Lautstärke. Somit verdoppelt sich die Lautheit für 20 dB SL, für 80 dB SL beträgt der Faktor nur 1,4. Dieser Zuwachs entspricht bei equalisierender Lautheit für 20 dB SL 8 dB und für 80 dB SL 6 dB erhöhten Pegel. (Fastl und Zwicker 2007, S. 311) Die Lautheitssummation ist nach Fastl et al. sowohl phasen- als auch frequenzabhängig. Sind die Töne nicht in Phase, kann die Lautheit um den Faktor 2 ansteigen. Für die Frequenz bis 4 kHz ist der Anstieg der Lautstärke des korrespondierenden monauralen Lautsprecher 12 dB in niedrigen Lautheitsniveaus (45 Phone) und 8 dB bei 85 Phone (Fastl und Zwicker 2007, S. 311)

„Zusammenfassend ist zu sagen, dass unter günstigen Bedingungen die binaurale Lautheit fast den doppelten Wert der monauralen Lautheit annehmen kann, wenn sich die Signale physikalisch und zeitlich nicht unterscheiden.“ (Fastl und Zwicker 2007, S. 311)

In den Kapiteln 1.1 bis 1.5 werden die relevanten Erkenntnisse aufgezeigt, die in Kapitel 2 in den Formeln berücksichtigt werden. Vorab ist zu klären, wie ein Hörsystem die Dynamikkompression des Eingangssignal für den Hörgeschädigten erreicht.

1.5 Technische Umsetzung der Begrenzung

Im Zeitalter der analogen Hörgeräte wurde die Dynamik anfangs von den aktiven und passiven Bauteilen beschränkt. Die Verstärkungsschaltung kann nur eine maximale Spannung verarbeiten, übersteigt das Eingangssignal diese Spannung, übersteuert die Signalverarbeitung und das Signal wird verzerrt. (Dillon 2012, S. 29) Die MPO wurde durch eine Diode begrenzt, die das Signal über einer bestimmten Spannung einfach abschnitt, somit kam es zur Bildung harmonischer Verzerrung. Bei Sinussignalen entstehen bei symmetrischem Peakclipping harmonische Oberwellen. (Dillon 2012, S. 29) Im weiteren Verlauf setzten sich AGC Schaltungen durch. Diese Schaltungen orientierten sich entweder am

Eingangs- oder Ausgangssignal und regelten verzerrungsfrei die Signaldynamik, indem der Verstärker pegelspezifisch das zu verarbeitende Signal verstärkte.

1.5.1 Digitale Lösung der Pegelbegrenzung

Die Dynamikkompressionen in der digitalen Hörsystemtechnik, werden alle auf der Basis der digitalen Signalverarbeitung verwirklicht. Nach Schaub gibt es drei Ansätze, wie ein akustisches Signal verarbeitet werden kann, „indem sie es

- in den Frequenzbereich transformieren, das Spektrum verändern und in den Zeitbereich zurück transformieren,
- mit einer Filterbank in viele Teilbandsignale aufteilen, die Teilbandsignale komprimieren und wieder zu einem Ausgangssignal zusammenfassen oder
- mit einem steuerbaren Filter frequenz- und pegelabhängig verstärken“ (Schaub 2005, S. 61)

Alle drei Ansätze setzen ein digitalisiertes Signal voraus, welches von einer analogen Spannungsschwankung in einem A/D Wandler in eine Zahlenfolge über die Abtastfrequenz konvertiert wird. Die Dynamik wird in der Hörgerätetechnik in 16 Bit kodiert, d.h. eine Dynamik von 96 dB übertragen.

Die Abtastfrequenz gibt die Anzahl der Zahlenwerte pro Millisekunde wieder, das bedeutet bei 16 kHz sind das 16 Abtastungen pro Millisekunde, die dann Zahlenwerte von +1 bis -1 annehmen. (Schaub 2005, S. 61) Hat das Signal die digitale Signalverarbeitung durchlaufen, muss es von einem D/A Wandler zurück in ein kontinuierliches Signal konvertiert werden, damit es der Hörer wiedergeben kann.

Das erste Modell der Dynamikkompression wird über eine Transformation in den Frequenzbereich verwirklicht. Nach Schaub wird das digitale Signal in Segmente zerlegt, die Endseitig eingeblendet und ausgeblendet werden. Diese Segmente werden in der Fast Fourier Transformation in Frequenzindizes auf der Abszisse und in die Amplitude auf der Ordinate aufgeteilt. Diese Werte können daraufhin mit Multiplikationsfaktoren frequenzspezifisch verstärkt werden, und durch eine inverse FFT zurück transformiert werden. (Schaub 2005, S. 125–132) „[...]halten wir noch fest, dass die Transformation in den Frequenzbereich einen wesentlichen Nachteil aufweist: da man das Signal in Segmenten verarbeitet, dauert es länger

als erwünscht, bis das Ausgangssignal aufbereitet ist.“ (Schaub 2005, S. 63) Laut Schaub erzeugt dieses Delay von 5 bis 10 ms des elektronischen Signals bei einer offenen Versorgung mit einer großen Zusatzbohrung einen Kammfiltereffekt in den tiefen Frequenzen, wenn in diesen nicht viel Verstärkung bereitgestellt wird. Bei einer Dynamikkompression mit einer Filterbank oder steuerbaren Filtern ist der Laufzeitunterschied bei kürzeren 2-3 ms. (Schaub 2005, S. 86) Mit steigender Laufzeitdifferenz wird nach Schaub der Klang immer stärker beeinflusst. In Kategorien eingeteilt, ist die Beeinflussung bis 2,5 ms gering, von 2,5 - 5 ms leicht, von 5 - 10 ms mittel und über 10 ms stark. (Schaub 2005, S. 86)

Die heutigen Hörgeräte können nach Schaub akustische Signale in einer Filterbank in einzelne Teilbandsignale aufspalten. Diese unabhängigen Teilbandsignale können unabhängig voneinander verstärkt oder komprimiert werden. (Schaub 2005, S. 64) Die Gefahr der Mehrkanal-Dynamikkompression ist, dass sich eine große Anzahl von Kanälen nach Schaub negativ auf den Klang auswirken. Um dem entgegen zu wirken, werden Kanäle miteinander gekoppelt und verringern somit diesen Negativeffekt. (Schaub 2005, S. 64) Für jedes Teilbandsignal gibt es eine spezifische Dynamikkennlinie, die nicht wie früher, aus einem linearen und nach den Kniepunkt, kompressiven Bereich besteht, es sind mehrere Kniepunkt in einer Dynamikkennlinie realisierbar sind, bis hin zu Kurvenverläufen. (Schaub 2005, S. 65)

Die Dynamikkompression mit steuerbarem Filter beschreibt die effektivste Vorgehensweise der Dynamikkompression. Laut Schaub ähneln sich die Ansätze der Dynamikkopression über die Filterbank und über den Frequenzbereich darin, dass das Signal immer mit einem festen Vorgehen aufbereitet wird. Die Filterbank zerlegt das Signal in Frequenzbänder und die Transformation es in den Frequenzbereich, in Zeitsegmente, die daraufhin erst verarbeitet werden. Diese Abläufe benötigen sowohl Rechenleistung als auch Zeit.

Verarbeitet das Hörgerät über steuerbare Filter wird das Signal als Ganzes verarbeitet. (Schaub 2005, S. 67) Das Signal durchläuft nach Schaub in beiden Filtersystemen siehe Abb. 1.9 und Abb. 1.10 zwei parallele Signalpfade. In der Synchronisation wird das Signal auf dem Hauptpfad mit dem, des Nebenpfad zeitlich abgeglichen.

Auf dem Hauptpfad gelangt das Signal anschließend in den steuerbaren Filter, in welchem das Signal pegel- und frequenzspezifisch verstärkt wird. Auf dem Nebenzweig wird permanent der Schalldruckpegel gemessen, um den richtigen Filterkoeffizienten für den Eingangspegel zu ermitteln. (Schaub 2005, S. 67) Bei Peak Signalen kann es zum Signalüberschwingen kommen. Laut Schaub kann man das Signalüberschwingen, das auftritt, wenn eine zeitabhängigen Schaltung einen Peaksprung von einem 55 dB auf 80 dB verarbeitet, verringern, indem man den ersten Peak des lauten Signals mit der Verstärkung des 55 dB Signals mit einer Laufzeitdifferenz von 1,5 ms wiedergibt. Somit ist das Überschwingen gemindert. (Schaub 2005, S. 87–88)

1.5.1.1 Kreuzgliedfilter

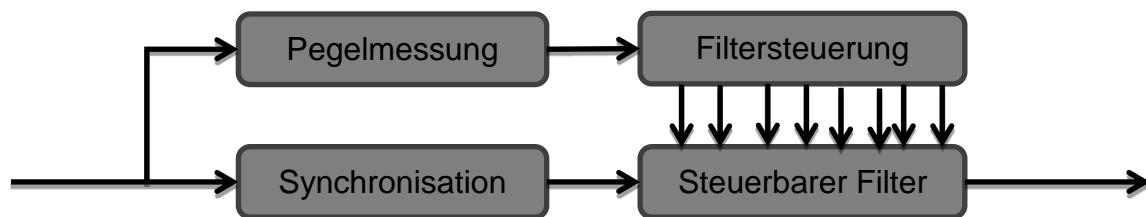


Abb. 1.7: Dynamikkompression mit steuerbarem Kreuzgliedfilter (Schaub 2005, S. 67)

Der Kreuzgliedfilter unterscheidet sich von dem Transversalfilter in dem Parallelpfad. Er misst den Gesamtschalldruckpegel und erzeugt dann den Filterkoeffizientensatz für die unterschiedlichen Frequenzen. Der Transversalfilter misst frequenzspezifisch den Schalldruckpegel und erzeugt somit Filterkoeffizienten mit einer stärkeren Frequenzspezifität. (Schaub 2005, S. 67)

„Der steuerbare Kreuzgliedfilter eignet sich nur für Dynamikkompression, in welcher der Schallpegel des Gesamtsignals bestimmt, wie das Signal zu verstärken ist.“ (Schaub 2005, S. 68)

1.5.1.2 Transversalfilter

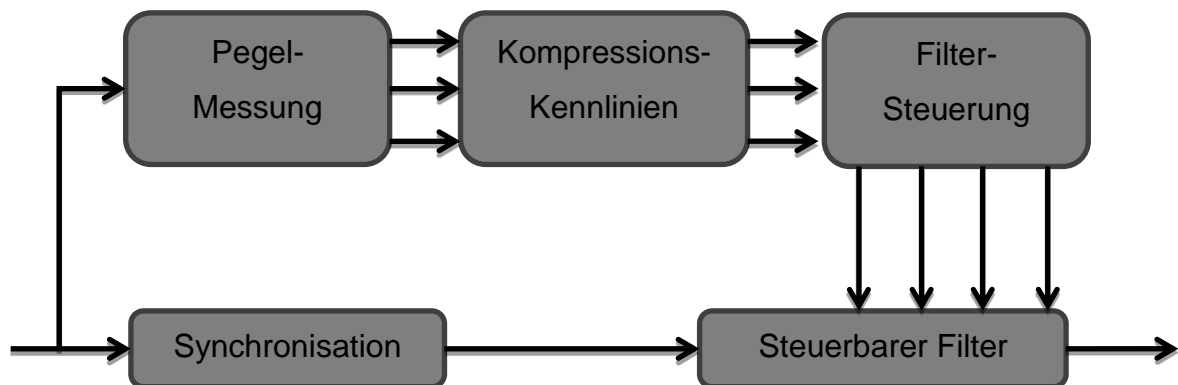


Abb. 1.8: *Dynamikkompression mit steuerbarem Transversalfilter (Schaub 2005, S. 67)*

Die Einsatzmöglichkeit eines steuerbaren Transversalfilter mit der Verstärkung und Messung in den Teilbändern wird nach Schaub nicht nur in der Mehrkanal-Dynamikkompression eingesetzt, sondern auch in der adaptiven Störschall-Unterdrückung, oder sogar einer Kombination beider Verfahren. (Schaub 2005, S. 68) Bei beiden Filtern wird die Dynamikkompression eingangspegelspezifisch über die jeweilige Dynamikkennlinien als Grundlage für die Filterkoeffizienten verwendet, um das erzielte, nichtlineare Übertragungsverhalten zu erzeugen. (Schaub 2005, S. 69–71) Der steuerbare Transversalfilter setzt sich nach Schaub aus vielen Bandpassfiltern (Hoch- und Tiefpass) zusammen, welche einzeln angesteuert werden können. Die einzelnen Filter besitzen spezifische Dynamikkennlinien die das Signal dann Frequenzabhängig verstärken. (Schaub 2005, S. 71)

1.5.1.3 HLC

Der high level compressor ist eine Parallelschaltung, die nur bei erkannten Impulsschallen aktiviert wird. Nach Dillon kann ein Hörgerät durch die Modulation und den Anstieg des Schalldruckpegels zwischen Sprache und Impulsschallen unterscheiden, da ein Impulsschall einen extremen Schalldruckpegelanstieg in kurzer Zeit erzeugt kann, welcher durch die Signalverarbeitung erkannt wird und

daraufhin nicht übertragen wird. Diese Filter gleichen die Lautheit aus, um die Störung zu verringern, jedoch kann ein Sprachsignal während des Impulsereignis nicht verstanden werden, da der Impulsschall es physikalisch maskiert. (Dillon 2012, S. 233) Nach der Abklärung der technischen Umsetzung der Kompression in digitalen Hörsystemen stehen die präskriptiven Formeln im Focus.

2 Präskriptive Formeln

Das Ziel von präskriptiven Anpassformeln ist nach Valante frequenz- und pegelabhängige Zielwerte zu erzeugen, die die Anpassung und Verifizierung über Kuppler oder am Kundenohr ermöglichen, die als übergeordnetes Ziel die Wiederherstellung der Hörbarkeit von Sprache und somit ein Ausgleich der Behinderung hat. (Valente 2002, S. 2) Die Formeln unterscheiden sich in der Signalverarbeitung in Linear oder WDRC, die benötigten audiometrischen Werte zur Berechnung der Ziele und ob die Lautheit normalisiert oder angeglichen wird. (Valente 2002, S. 2)

„Der individuelle Verstärkungsbedarf kann durch verschiedene Berechnungsverfahren ermittelt werden. [...] Es werden hierzu die audiologischen Befunde genutzt und – je nach Verfahren – sowohl die Hörschwelle, als auch überschwellige Befunde (U-Schwelle, Lautheitsskalierung) in die Berechnung einbezogen.“ (Hoffmann et al. 2006, S. 131) Nach Hoffmann ist die Interpretation der Anpassvorschriften der Hersteller nicht einheitlich, somit ist eine messtechnische Kontrolle notwendig[...] (Ulrich und Hoffmann 2012, S. 344) Die Zielwerte werden in dB SPL für den äußeren Gehörgang kalkuliert, um die Transformation von dB HL zu dB SPL durchführen zu können, werden die RECD Werte verwendet, um einen Bezug auf die Normhörschwelle herzustellen. (Seewald und Tharpe 2011, S. 539) Wenn die RECD Werte nicht vorhanden sind, muss die präskriptive Formel altersabhängige RECD Werte hinterlegt haben, um die Altersabhängigkeit richtig mit einberechnen zu können.

Ein wichtiger Punkt, der beleuchtet werden muss, ist die Unterscheidung zwischen der Lautheitsnormalisierung (loudness normalization) und dem Lautheitsausgleich (loudness equalization), die eine übergeordnete Einteilung der präskriptiven Formeln ermöglicht. Die Lautheitsnormalisierung hat nach Valante das Ziel, die Lautheitswahrnehmung eines Hörgeräteträgers im Vergleich zu einem normal Hö-

renden wiederherzustellen. Die Hörbarkeit aller Signale ist stärker gewichtet, als die Sprachverständlichkeit. Der Lautheitsausgleich hat das Ziel, die Lautheit durch alle Frequenzen anzugleichen und somit die relative Lautheit zu erhalten. Hier ist die Sprachverständlichkeit fokussiert. (Valente 2002, S. 6)

2.1 NAL-NL2

Nach Dillon wurde NAL 1976 in den National Acoustic Laboratories of Australia anfänglich für linear verstärkende Hörsysteme entwickelt. Das Ziel der Formel ist es die Sprachverständlichkeit zu maximieren, ohne dabei die Lautheit über das Maß eines Normalhörenden ansteigen zu lassen. Die Lautheit wurde über alle Bänder bestimmt. (Dillon 2012, S. 290)

Die NAL Methode wurde daraufhin revidiert, da die errechneten Verstärkungswerte nicht erreicht wurden. Außerdem wurde der Verstärkungsverlauf auf den Verlauf des LTASS angeglichen, indem man die Verstärkung in den tiefen Frequenzen absenkte. Ein zweites Ziel für die frequenzspezifische Verstärkung war das normale Sprache auf die 60 Isophone eines Normalhörenden zu verstärken. Außerdem wurde herausgefunden, dass Hörgeräteträger mit hochgradigen Hörverlusten zu geringe Verstärkungswerte bekamen. Somit entstand NAL-R und für hochgradige Hörverluste NAL-RP (Dillon 2012, S. 291) Wird ein Signal mit 40 dB Dynamik auf die 60 Isophone Abgebildet ergibt sich eine Obergrenze bei der 80 Isophone.

Nach Dillon hat die nichtlineare Version von NAL, NAL-NL 1 / 2 auch das Ziel die Sprachverständlichkeit zu maximieren, ohne dabei die Lautheit eines Normalhörenden zu überschreiten. Die neue Kalkulation der frequenzspezifischen Verstärkung wird über ein neuronales Netz errechnet. Einerseits wird über ein modifiziertes SII Verfahren die Verstärkung für optimale Sprachverständlichkeit errechnet, und andererseits über das überarbeiteten Lautheitsmodell von Moore and Glasberg die Lautheit in den vorgeschriebenen Grenzen gehalten (Keidser und Dillon, S. 133; Dillon 2012, S. 313) Abb. 2.1 gibt einen abstrakten Einblick in die Rechenschritte des neuronalen Netzes.

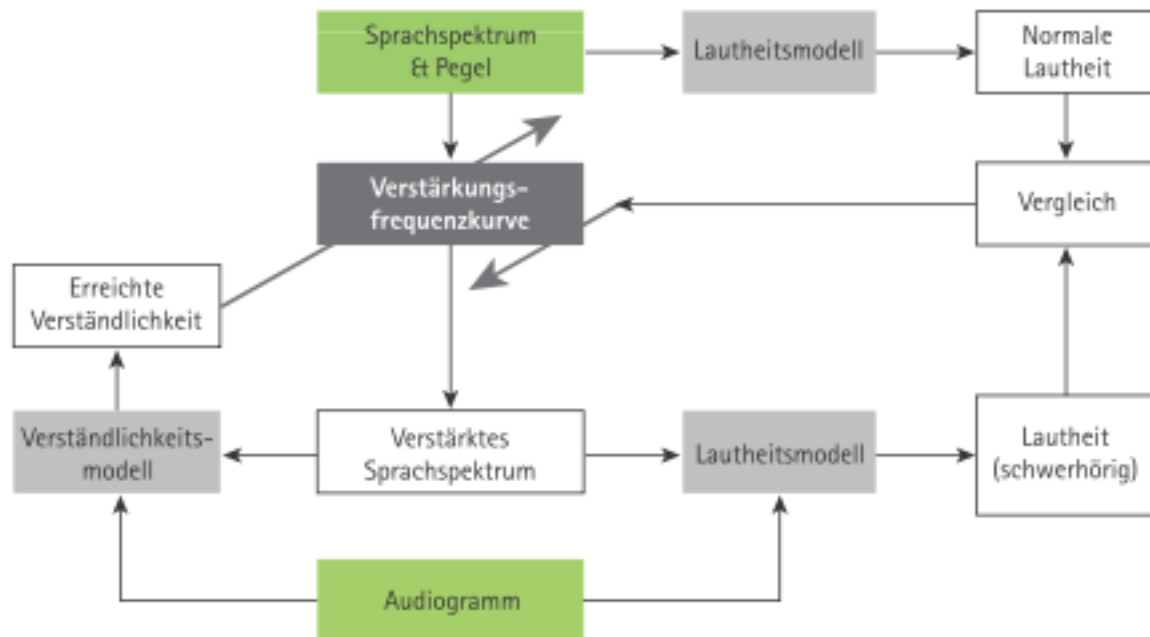


Abb. 2.1: Flowchart zur Berechnung der Verstärkung für ein spezifisches Audiogramm (Dillon et al. 2011, S. 2)

NAL-NL2 beinhaltet über den modifizierten SII eine genauere Vorhersage der Sprachverständlichkeit, auch für mittel- bis hochgradige Hörverluste der den nutzbare Informationsgehalt mit steigendem Alter und steigendem Hörverlust berücksichtigt. Darüber hinaus ist der Informationsgehalt in Störgeräuschsituationen immer geringer, als in Ruhe. (Keidser und Dillon, S. 135) Um zu verhindern, dass die Kompression die Sprachverständlichkeit einschränkt, ist das Kompressionsverhältnis für hohe Frequenzen 2:1 bis 3:1 und in den tiefen Frequenzen 2:1. Des Weiteren wurde die Verstärkung für schrägverlaufende Hörverluste in den hohen Frequenzen am Meisten verringert. (Keidser und Dillon, S. 137) Betrachtet man die PLL geschlechter- und erfahrungsabhängig, ergibt dies für NAL-NL2, somit für einen erfahrenen männlichen Hörgeräteträger 4 dB mehr Verstärkung, als für eine weibliche Erstanwenderin. (Keidser und Dillon, S. 138) Wird ein Hörsystemeträger mit NAL-NL2 versorgt, wird die Verstärkung für die binaurale Lautheitssumation angeglichen, darüber hinaus spielt es eine Rolle, wie stark die Hörverluste voneinander abweichen. Liegt eine tote Region vor, wird auch dort die Verstärkung nach Dillon et al. angeglichen (Keidser und Dillon, S. 139)

2.2 DSL m(i/o)

Die DSL Formel wurde nach Dillon mit dem Ziel produziert, einem schwerhörigen Kind das Signal hörbar und komfortabel zu verstärken. Diese Formel war wie NAL für linear verstärkende Hörsysteme konstruiert. (Dillon 2012, S. 292) Das Ziel war es, schwerhörige Kinder mit einem klinischen Verfahren Hörgeräte so anpassen zu können, dass einerseits die Sprachentwicklung voran schreitet und andererseits die Unbehaglichkeit ausgeschlossen werden kann, da diese in der Ped-audiologie nicht gemessen wird.

Laut Dillon wurde 1995 die DSL Formel für nicht lineare Signalverarbeitung veröffentlicht, die sich in zwei Ansätze unterscheidet. DSL (i/o) linear hat einen linearen Kompressionsverlauf über einen breiten Eingangsbereich mit dem Ziel, die gesamte Dynamik jeder Frequenz in die Restdynamik des Schwerhörigen abzubilden. Die UCL wurde entweder basierend auf der Hörschwelle geschätzt, konnte aber auch durch gemessene Werte ersetzt werden. DSL (i/o) curvilinear setzt das Ziel der Lautheitsnormalisierung mit den kurvenlinearen Verlauf der Kompression genauer um, indem alle Signale hörbar werden und die Unbehaglichkeit trotzdem nicht erreicht wird. (Dillon 2012, S. 311) Jedoch hat die Verwendung der DSL (i/o) Formel bei Erwachsenen ambivalente Ergebnisse ergeben. (Scollie et al., S. 160) Sie bevorzugen nach Scollie im Vergleich zu anderen präskriptiven Verfahren weniger Verstärkung. (Scollie et al., S. 160) Ein Teil der Patienten forderte eine Verstärkungsminderung von durchschnittlich 5dB. (Scollie et al., S. 168) Dies war mit ein Grund für die Überarbeitung von DSL (i/o).

Die Revision der DSL (i/o) v 4.1 basiert auf der Implementierung der neu ermittelten Verstärkungskurven und die Umstellung des Algorithmus auf die neuen Erkenntnisse in der Padiatrischen Forschung (Scollie et al., S. 173)

Weitere Ziele der Revision sind:

- Vermeidung von Unbehaglichkeit beim Hörgerätegebrauch
- Übertragen wichtiger Details in einem Sprachsignal
- Hörsystemanpassungen in der Früherkennungsphase und in Interventionsprogrammen unterstützen

- eine Kompressionscharakteristik empfehlen, welche den Grad und den Aufbau des Hörverlustes entsprechen und gleichzeitig eine große Bandbreite für Sprachsignale ermöglicht
- Eine Unterscheidung der Bedürfnisse zwischen angeborener und erworbener Hörstörung
- Unterbringung der unterschiedlichen Anforderungen in stiller und geräuschvoller Umgebung (Scolle et al., S. 173)

Es werden im folgenden Abschnitt nur die für diese Arbeit relevanten Neuerungen der Studie gezeigt.

Um die Kompression auf eine Mehrkanalkompression hochzurechnen, werden die $\frac{1}{3}$ Oktavbänder in die vorgegebenen Hörgeräte Bänder gruppiert und dann getrennt errechnet. (Scolle et al., S. 189) Wobei sich die Mehrstufenkompression nach Dillon in vier Glieder aufteilt, für geringe Eingänge die Expansion, unterhalb des Kompressionskniefunktes lineare Kompression, WDRC für mittlere Eingänge bis zur Begrenzung der lauten Pegel. (Dillon 2012, S. 312) Eine Besonderheit von DSL v5.0 ist, dass sich der Kompressionsbereich von 30 dB SPL für leise Sprachanteile bis auf 70 dB SPL pro $\frac{1}{3}$ Oktavband in der WDRC erstreckt. Der Kompressionskniefunkt ist so gewählt, dass leise Sprachanteile gut hörbar sind. (Scolle et al., S. 184)

Folgend wird auf den wichtigsten Punkt für diese Studie eingegangen, wie wird ein Signal verarbeitet, wenn es über dem mittleren Sprachbereich angeboten wird.

2.2.1 Begrenzung

DSL m(i/o) liefert drei unterschiedliche Begrenzungsregelungen, die entweder auf eine REAR von 140 dB SPL vorausberechnet wird, oder durch individuelle Parameter verändert werden kann.

1. Die Schmalbandbegrenzung (ULC = upper limit of comfort) die eingangspegelunabhängig arbeitet und darauf abzielt, dass kein schmalbandiges Signal die Unbehaglichkeit des Hörgeräteträgers erreicht.
2. Schmalbandbegrenzung für 90 dB SPL, wenn das Hörgerät nicht im Sättigungsbereich arbeitet.
3. Breitbandbegrenzung (BOLT) Analysiert breitbandige Sprachsignale in $\frac{1}{3}$ Oktavbändern und limitiert die lautesten Peaks. (Scollie et al., S. 181)

„Der BOLT definiert den frequenzspezifischen Kniepunkt für $\frac{1}{3}$ Oktavband Effektivwerte von Sprachsignalen in der Sättigung.“ (Scollie et al., S. 181)

Er wird bei Hörgeräten mit Breitbandbegrenzung verwendet und hat einen festgelegten Abstand zur Schmalbandbegrenzung. Er wird durch drei Teilaspekten erzeugt, erstens retrospektivische Datenanalyse, zweitens ULC Vergleiche mit anderen Anpassverfahren und drittens der Vergleich von Lautheitssummation von Schmalbandsignalen zu Breitbandsignalen (Scollie et al., S. 181) „... Die Breitbandbegrenzung liegt 13 dB unter der ULC, die in DSL 5.0 die Peaks des Sprachsignals 3 dB unter die UCL legen.“ (Scollie et al., S. 183) Dies wird wie alle Begrenzungen über die Kompression geregelt, welche zwei Ziele hat. Erstens ist sie in der WDRC die eingangsspezifische Lautstärkeregelung mit dem Nebenziel die Lautheit zu normalisieren und zweitens die MPO Begrenzung mit hohen Kompressionsverhältnissen zu gewährleisten. (Scollie et al., S. 184)

Ein weiterer Aspekt ist wie in 1.5 angesprochen die Lautheitssummation bei der binauralen Versorgung. Die binaurale Lautheitssummation wird in DSL m(i/o) mit 3 dB in der Zielberechnung für Sprachsignale einberechnet. Dieser Wert wurde zur Erhaltung der Lautheit primär für den pädiatrischen Einsatz gewählt. (Scollie et al., S. 186)

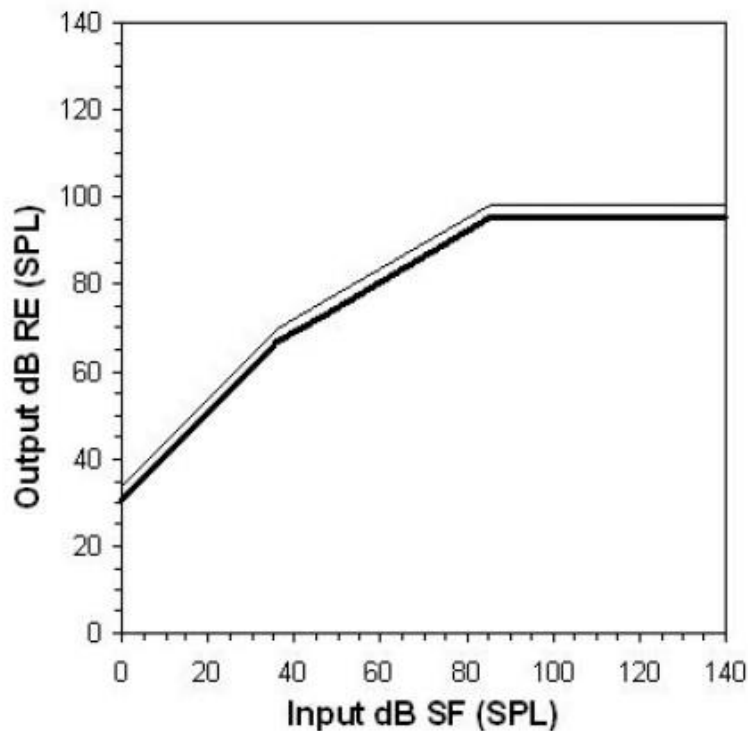


Abb. 2.2: Vergleich von monaurale (dünne Linie) und binaurale (dicke Linie) Ziele für DSL m(i/o) (Scollie et al., S. 187)

Die Abb. 2.2 zeigt den Unterschied von monauraler zu binauraler Versorgung im LE/LA Diagramm. Die Ausgangsleistung wird über alle Eingangspegel verringert. Abschließen wird die Verstärkung situationsabhängiger, da sich der Anspruch des Schwerhörigen abhängig vom Umgebungsgeräusch verändert. In ruhiger Umgebung ist die Hörbarkeit im Focus, in geräuschvoller Umgebung würde dieses Ziel aber eine Überverstärkung von Störgeräuschen erzeugen. (Scollie et al., S. 188) Deswegen benutzt DSL m(i/o) weniger Verstärkung in geräuschvoller Umgebung, um die Hörbarkeit zu gewährleisten, aber auch gleichzeitig die Akzeptanz der Geräte in geräuschvoller Umgebung zu sichern. (Scollie et al., S. 188)

3 Material und Methoden: Empirie

3.1 Verwendete Geräte

Für den messtechnischen Vergleich der Hörgerätefirmen sind folgende Hörgeräte mit NAL-NL2 und DSL v 5.0 programmiert worden.

Antaro Mini mit Tragehaken von Hansaton Akustik

Bolero Q90 von Phonak

Alta Mini HDO 85 von Oticon

Das Antaro Mini mit Tragehaken mit 312er Batterie wird über die Hansaton Akustik GmbH aus 20097 Hamburg Sachsenkamp 5 deutschlandweit vertrieben. Der maximale Ausgangsschalldruckpegel und die maximale Verstärkung liegen bei 123 dB und 57 dB. Die AGC arbeitet in 18 Kanälen. Das Bolero Q90 mit der 312er Batterie wird von der Phonak GmbH in der Max-Eyth-Straße 20 70707 Fellbach vertrieben. Es hat 20 Kanäle und liefert einen maximalen Ausgangsschalldruckpegel von 132 dB SPL und eine Verstärkung von 61 dB. Das Alta Mini HDO 85 mit

der 312er Batterie wird von der Oticon GmbH aus 22525 Hamburg Hellgrundweg 101 vertrieben. Das 85er BTE liefert einen 121 dB Ausgangsschalldruckpegel mit einer maximalen Verstärkung von 53 dB. Alle ausgewählten Hörsysteme sind für die folgenden Hörverluste mit mindestens 10 dB Reserve geeignet.



Abb. 3.1: Verifit Messbox (Audioscan 2012)

Die Verifit Messbox (Abb. 3.1) wird von der AURITEC GmbH in 22047 Hamburg in der Dernauer Straße 12 vertrieben. Mit dieser Messbox sind sowohl die MPO Messungen in der Messbox, sowie die in situ Messungen der MPO im Freifeld möglich. „Der MPO Stimulus beinhaltet eine Serie von 128ms tone bursts mit 128ms Pausen mit einem Schalldruckpegel von 90 dB SPL in der Testbox (M1) und 85 dB im Freifeld (M2). Die Frequenzen werden in 1/12 Oktaven verarbeitet bis auf die MPO, die in 1/3 Oktavbändern aufgeteilt wird.“ (Audioscan 2012, S. 140)

Der Head an Torso Simulator Type 4128c Brüel & Kjær wird von der Brüel & Kjaer GmbH in 28359 Bremen in der Linzer Straße 3 vertrieben, siehe Abb. 3.2.



Abb. 3.2: Der Head an Torso Simulator Type 4128c Brüel & Kjær (Google-Ergebnis für <http://www.bksv.com/~media/38BD1019B6C74F50B62B7C6C507FCCAC.ashx%3Fmh%3D170%26mw%3D580%26bc%3Dwhite>)

Dieser Kunstkopf ist speziell für Messungen von Hörgeräten und Kopfhörern entwickelt worden. Der Vertrieb von National Instruments bietet die Computerplattform NI PXLE-1062Q mit der Software LabVIEW Signal Express 2010 mit regionalem Sitz in 70567 Stuttgart.

Die beiden simulierten Kunden sind männlich, 50 Jahre alt, erfahrene Hörgeräte Träger und leiden unter cochleärer Schallempfindungsschwerhörigkeiten.

Der erste simulierte Kunde heißt Marc, dessen Hochtonteilabfall verläuft von 0,25 kHz auf 20 dB bis auf 1,5 kHz und mündet dann in einen Steilabfall auf 40 dB bei 2 kHz bis auf 60 dB bei 4,0 kHz bis 8 kHz. Die Unbehaglichkeitsschwelle hat bei 0,5 kHz 100 dB, 1 kHz 100 dB, 2 kHz 95 dB und bei 4 kHz 90 dB. Der zweite simulierte Kunde heißt Max, dessen Hochtonschrägabfall verläuft von 0,25 kHz bis 0,5 kHz auf 20 dB und nimmt pro $\frac{1}{3}$ Oktavband um 5 dB zu bis auf 40

dB bei 2 kHz und bleibt auf diesem Niveau bis 8 kHz. Die UCL liegt pantonal auf 100 dB, die Knochenleitung liegt für die Schallempfindungsschwerhörigkeit typisch auf der Luftleitung.

Die Audiogramme setzen sich aus zwei der Standardaudiogramme (EHIMA TC, S. 5) des ISMADHA Projekt der EHIMA und den Erkenntnissen der Pascoe Studie zusammen.

Die Hörgeräte werden mit den Hörverlusten und den präskriptiven Formeln programmiert und vermessen.

3.2 Messreihe 1 (M1)

Für die Messreihe 1 werden die drei zu untersuchenden Hörgeräte in folgendem Versuchsaufbau wie Abb.3.3 vermessen.

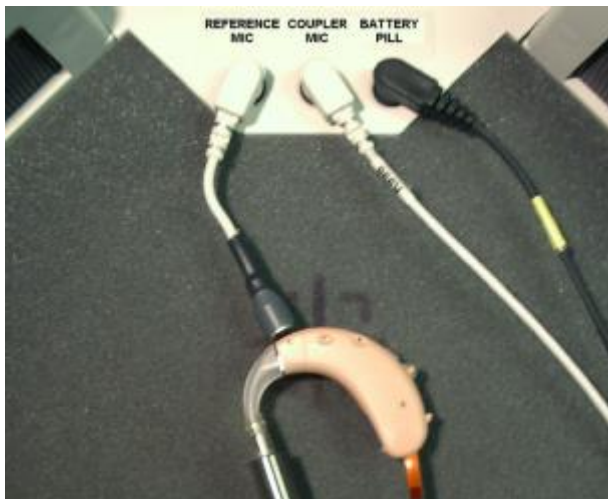


Abb. 3.3: Der Stimulus wird aus dem linken Lautsprecher gegeben (Audioscan 2012, S. 41)

Die Hörverluste werden am 2 ccm Kuppler über die Auritec Verifit gemessen und in $\frac{1}{12}$ Oktavbändern ermittelt, wobei die Hörsysteme in der ersten Messreihe im Verifikationsmodus mit ausgeschalteten adaptiven Features gemessen werden.

3.3 Messreihe 2 (M2)

Für die Messreihe 2 werden die drei zu untersuchenden Hörgeräte in folgendem Versuchsaufbau wie Abb.3.4 vermessen.



Abb. 3.4: M2 Versuchsaufbau. Vom Bezugsmesskreuz zur FF Box beträgt der Abstand 85cm.

In der zweiten Messreihe wird die MPO über den Kemar Head and Torso Simulator Type 4128c von Brüel & Kjær, in Verbindung mit LabVIEW Signal Express 2010 Version 9.3.0 auf einem Portablen PC von International Instruments NI PXIe-1062Q gemessen. Die Ohrsimulatoren wurden jeweils mit einem 70 dB weißen Rauschen kalibriert und anschließend wieder mit den Kunstohren verbunden. Als Testsignal ist der in situ tone burst mit 85 dB verwendet mit gesetzten in situ Sonden mit geschlossenen Otoplastiken mit passender Zusatzbohrung für die Messsonden. Die in situ Sonden sind nur für das Substitutionsverfahren der Messbox

verwendet worden, die eigentliche Messung läuft über die Ohrsimulatoren des Kemar. Die Bewertung der MPO pro Seite wurde in $\frac{1}{12}$ Oktavbänder gefiltert. Die Hörgeräte befinden sich im Tragemodus, d.h. im normalen Batteriebetrieb. Im folgenden Abschnitt wird die Einstellung der Hörgeräte präziser beschrieben:

3.4 Voranpassung der Hörgeräte

3.4.1 Antaro mini

Das Antaro mini von Hansaton ist mit einem standard Tragehaken über einen standard Schallschlauch an eine *kurze Otoplastik* mit einer *0,0 mm* Zusatzbohrung angeschlossen, das Anpassungsalter steht auf *Erwachsener* und die Akklimatisierungsstufe steht sowohl bei *NAL-NL2* und *DSL v5* auf *100%*, bei *NAL-NL2* steht die Hörsystemerfahrung auf *Routiniert* und die Sprache ist *nicht tonal* gewichtet. In *M1* wird der *Insitu Tuningmodus* aktiviert, um die adaptiven Features zu deaktivieren und die Mikrofone auf omnidirektional zu stellen.

3.4.2 Phonak Bolero

Das Phonak Bolero Q90 ist mit einem standard Schlauch und einem *gedämpften Winkel* an der Otoplastik verbunden, die ZuBo ist *geschlossen*, die Schlauchoptionen ist auf *Standard* gesetzt. In der Basisanpassung wird zwischen *DSL v5a* für Erwachsene und *NAL-NL2* mit der *Akklimatisierungsstufe 100%* unterschieden. Für *M1* ist die Verifizierungseinstellung *omnidirektionales Mikrofon mit ausgeschaltetem Soundrecover* gewählt.

3.4.3 Alta Mini

Das Alta Mini von Oticon wird mit dem Kundenprofil *Dynamisch* eingestellt, da der männliche Kunde im Alter zwischen 17-59 ist, und lange Hörgeräteerfahrung hat. Bei diesem Hersteller ist es möglich beide präskriptiven Formeln in unterschiedlichen Programmen zu programmieren. Somit ist *DSL v5a* für Erwachsene in *P1* und *NAL-NL2* Aktiv in *P2* programmiert. Das Hörsystem ist mit einem gedämpften Winkel über einen standard Schallschlauch mit 2 mm Innendurchmesser an eine geschlossene Otoplastik angekoppelt

3.4.4 Messplan

Für den jeweiligen Hörverlust des simulierten Patienten (Marc = Hochtonsteilabfall, Max = Hochtonschrägabfall) wurde für jede präskriptive Formel für jedes Hörsystem die MPO in 52 Messungen gemessen. Die Messwerte sind im Kapitel 4 Ergebnisse in Abb. 4.1 bis Abb. 4.3; Abb. 4.8 bis Abb. 4.10; Abb. 4.15 bis Abb. 4.17; Abb. 4.22 bis Abb. 4.24 zu finden und heißen Messreihe 1. Sie sind als Verlauf der Medianwerte der Kuppler Messungen in Abhängigkeit der Frequenz grafisch dargestellt. Die FF Messung über den Kemar wird für jeden Kunden für das jeweilige Hörsystem mit der spezifischen Formel vier Mal gemessen und die Peaks aufgezeichnet. Diese sind mit Messreihe 2 beschrieben.

Die Kupplerdaten werden nach der Ermittlung für folgende Fragestellungen aufbereitet:

- Wie groß sind die Differenzen der MPO zur UCL in dB HL?
- Wie groß ist die Abweichung der MPO von DSL v 5.0 zu den Verifittargets in dB SPL?
- Wie groß ist die Abweichung der NAL-NL2 MPO der Geräte zur 80 Iso-
phone in dB SPL?
- Wie verhält sich die MPO im Bereich 200 Hz bis 470 Hz und in dem Bereich
von 4240 Hz bis 8 kHz?
- Gibt es sichtbare Unterschiede zwischen Messreihe 1 und Messreihe 2?

3.4.5 Statistik

Die ermittelten Werte werden mit dem Pearson-Stephens-Test ($\alpha = 10\%$), im Frequenzbereich von 200 Hz bis 8 kHz in $\frac{1}{12}$ Oktavbändern und mit dem Jarque-Bera, Shapiro-Wilk und Doornick Chi-Square ($\alpha = 5\%$) in den Audiometerfrequenzen auf Normalverteilung getestet. Die präskriptiven Formeln werden auf Unterschiedlichkeit mit dem H-Test nach Kruskal und Wallis getestet ($\alpha = 0,1\%$). Die Tests auf Normalverteilung lieferten unterschiedliche Ergebnisse, deswegen wird der Kruskal und Wallis Test für unabhängige Stichproben für mehr als 2 Stichprobenumfänge verwendet.

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \left(\sum \left(\frac{T^2}{n} \right) \right) - 3(N+1) \quad (3.1)$$

T = Summe der einzelnen Gruppen

n = Anzahl der Ranggruppen

N = Summe aller Gruppen

Für den Freiheitsgrad $df = 3-1 = 2$ und für eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha=0,1\%$. Der kritische Wert wird aus der Chi-Quadrat Tabelle für die vorher genannte Irrtumswahrscheinlichkeit abgelesen, der in diesem Fall $H_{krit \ df=2 \ \alpha=0,1\%} = 10,828$ beträgt.

4 Ergebnisse

Bei der Betrachtung der Messprotokolle der drei Geräte (Alta, Antaro, Bolero) unter den verschiedenen Messbedingungen, wie sie im Kapitel 3 Material und Methoden beschrieben werden, ergeben sich, dass keine Normalverteilung vorliegt. Aus diesem Grund werden die frequenzspezifischen Medianwerte der MPO in dB SPL verwendet. Zur besseren Übersichtlichkeit werden die Medianwerte in Abb. 4.1 bis Abb. 4.3; Abb. 4.8 bis Abb. 4.10; Abb. 4.15 bis Abb. 4.17; Abb. 4.22 bis Abb. 4.24 grafisch dargestellt.

4.1 NAL-NL2 Hochtonsteilabfall

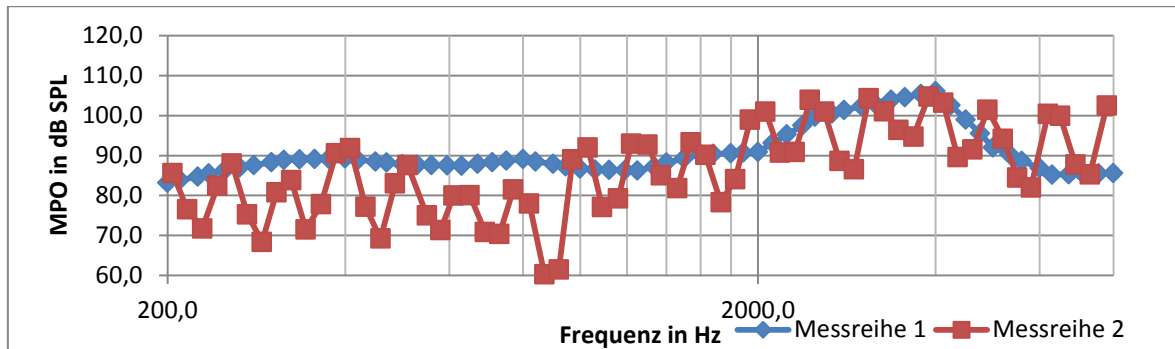


Abb. 4.1: Hochtonsteilabfall (Marc) MPO in Abhängigkeit der Frequenz in dB SPL für Alta NAL-NL2

Das Alta gibt bei 200 Hz 83,2 dB, dies steigt bis 300 Hz auf 88,3 und hält dieses Niveau bis 700 Hz. Dann eine Senke mit 86,3 dB und dann ein Anstieg bis 106,1 dB bei 4 kHz. Dann fällt die MPO auf ein Plateau von 85 dB im Bereich von 6,3 kHz bis 8 kHz.

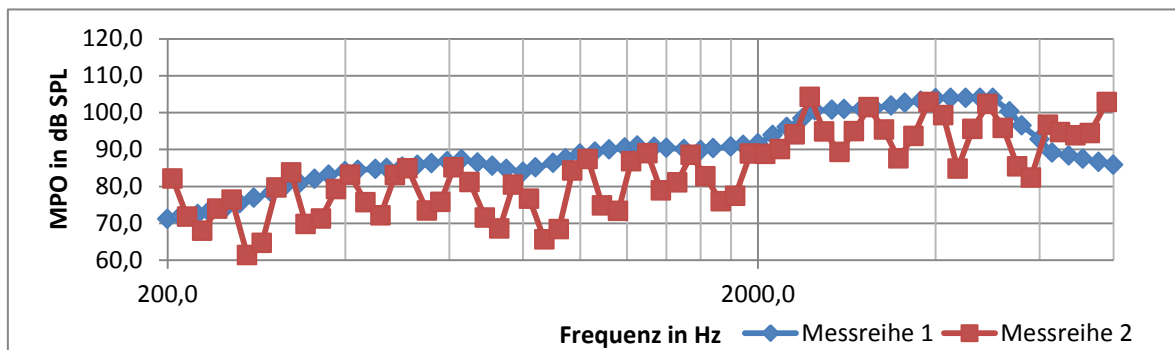


Abb. 4.2: Hochtonsteilabfall (Marc) MPO in Abhängigkeit der Frequenz in dB SPL für Antaro NAL-NL2

Das Antaro beginnt mit NAL-NL2 bei 71,2 dB bei 200 Hz, steigt bis 84, 1 dB auf 400 Hz. Von 400 Hz bis 2120 Hz verläuft es von 84,1 dB bis 93,9 dB mit einer Senke bei 750 Hz. Ab 2120 Hz steigt die MPO auf 104 dB bei 4000 Hz und fällt nach 5 kHz auf 85,8 dB bei 8 kHz.

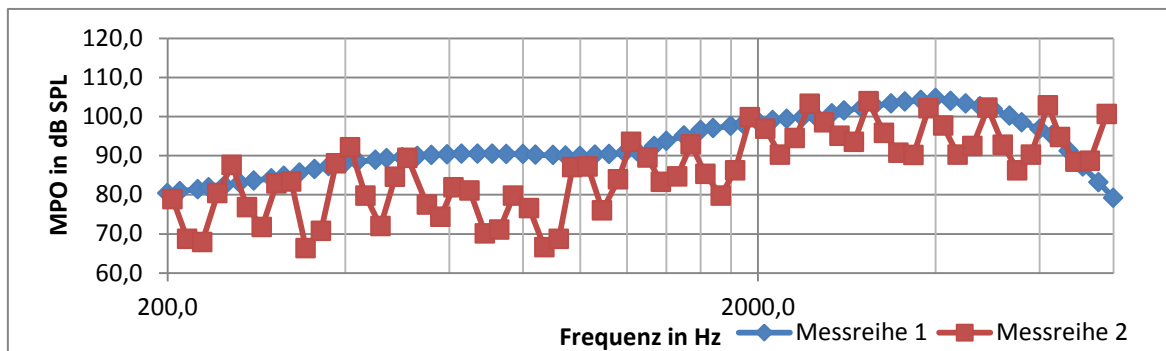


Abb. 4.3: Hochtonteilabfall (Marc) MPO in Abhängigkeit der Frequenz in dB SPL für Bolero NAL-NL2

Das Bolero beginnt für den Hochtonteilabfall mit 80,4 dB bei 200 Hz, steigt auf ein Plateau bei 90 dB bei 560 Hz bis 1250 Hz. Ab 1335 Hz steigt der Pegel bis 4 kHz von 92,4 dB auf 104,7 dB und fällt dann auf 79,2 dB bei 8 kHz.

4.1.1 Abweichung der MPO zur UCL in dB HL

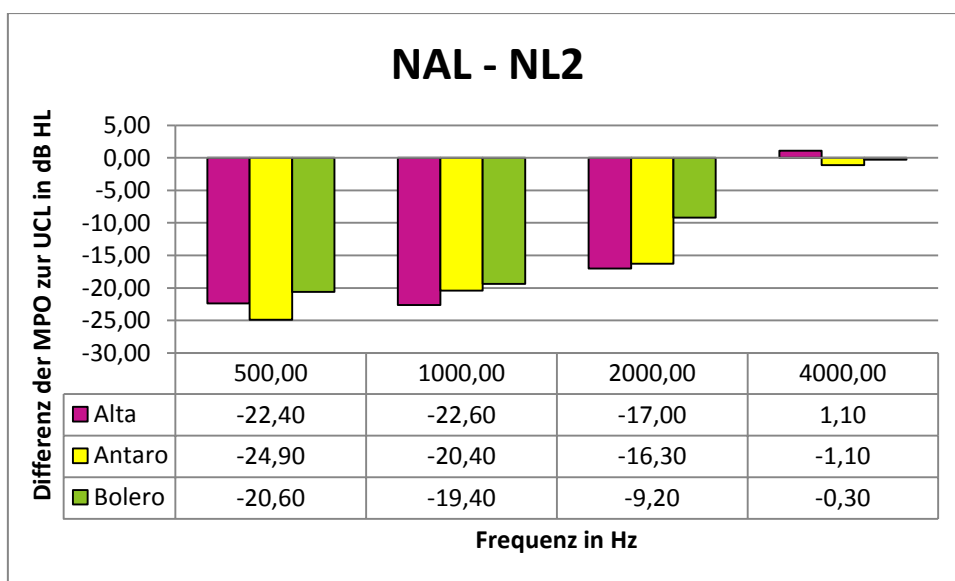


Abb. 4.4: Hochtonteilabfall (Marc) Abweichung der MPO in Bezug auf die UCL in dB HL für NAL-NL2

Die maximale Abweichung im Vergleich bei NAL–NL2 beträgt beim Antaro -24,9 dB bei 500 Hz gefolgt vom Alta mit -22,4 dB und dem Bolero mit -20,6 dB. Die Abweichungen der Hörgeräte werden geringer mit steigender Frequenz und erreichen die Hörschwelle bei 4 kHz mit 1,1 dB für das Alta, -0,3 dB für das Bolero und mit -1,1 dB für das Antaro.

4.1.2 Abweichung der MPO zur 80 Isophone in dB SPL

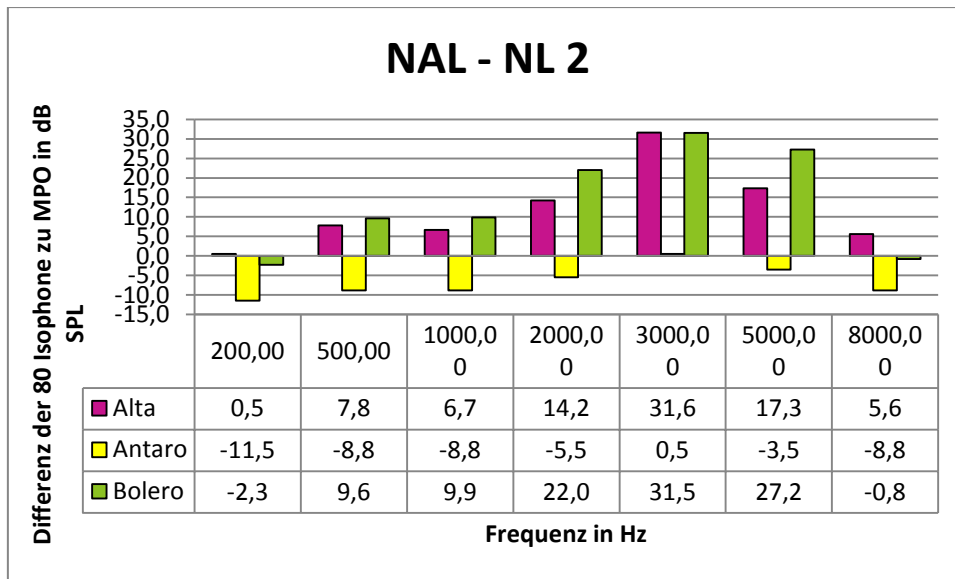


Abb. 4.5: Hochtonteilabfall (Marc) mit NAL-NL2 MPO Differenz zur 80 Isophone in dB SPL

Das Antaro steigt von -11,5 dB von 200 Hz über -8,8 dB bei 500 Hz und 1 kHz bis auf 0,5 dB bei 3 kHz und fällt wieder auf -8,8 dB bei 8 kHz. Das Alta und Bolero zeigen bei 200 Hz 0,5 dB und -2,3 dB Abweichung zur 80 Isophone und nehmen mit steigender Frequenz an positiver Abweichung bis auf 31,6 dB und 31,5 dB bei 3 kHz zu. Das Alta verringert die Abweichung über 17,3 dB bei 5 kHz auf 5,6 dB bei 8 kHz. Das Bolero hat bei 5 kHz noch 27,2 dB zu viel und liegt bei 8 kHz bei -0,8 dB.

4.1.3 Kurvenverlauf Außerhalb der UCL in dB SPL

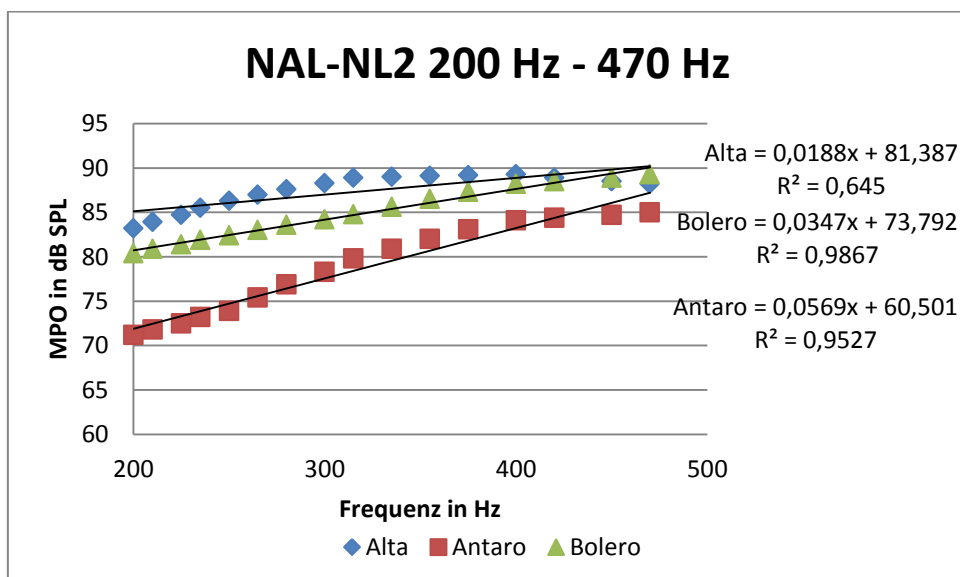


Abb. 4.6: Hochtonteilabfall (Marc) MPO Verlauf von NAL-NL2 in 200 Hz bis 470 Hz

Die Korrelation ist für das Alta $r=0,8031$, für das Antaro $r=0,9761$ und für das Bolero $r=0,9933$. Die Messwerte zeigen eine hohe Korrelation für alle drei Hörsysteme für NAL im niedrigen Frequenzbereich.

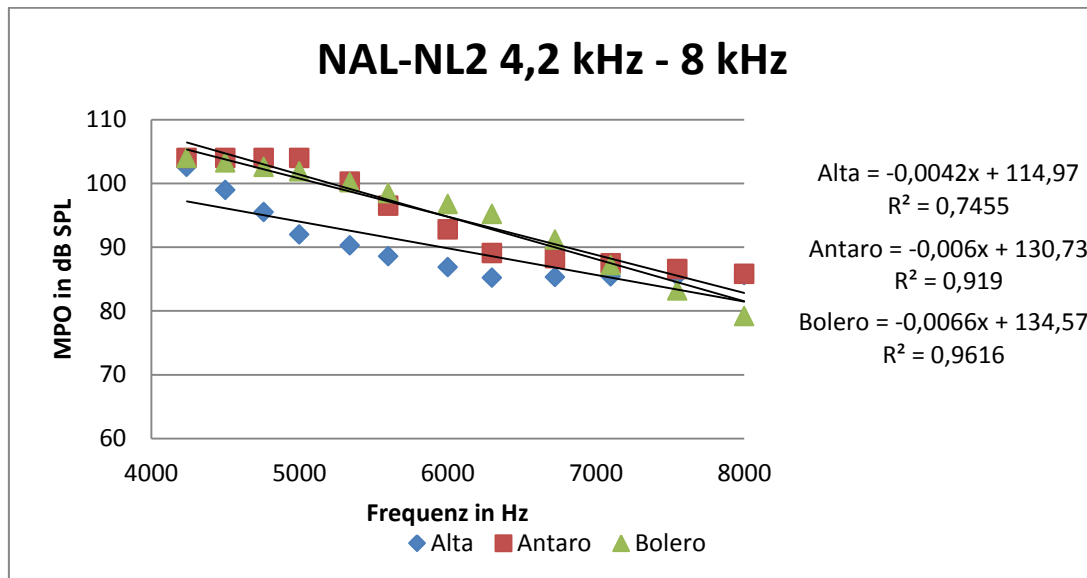


Abb. 4.7: Hochtonteilabfall (Marc) MPO Verlauf von NAL-NL2 in 4,2 kHz bis 8 kHz

Die Korrelation für das Alta ist $r=-0,8634$, für das Antaro ist $r=-0,9587$ und für das Bolero ist $r=-0,9806$.

4.2 NAL-NL2 Hochtonschrägabfall

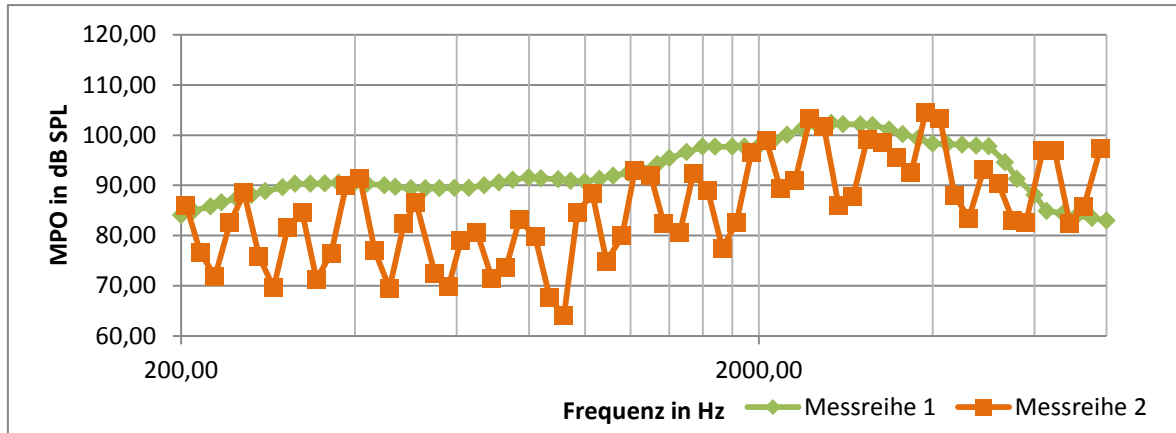


Abb. 4.8: Hochtonschrägabfall (Max) MPO in Abhängigkeit der Frequenz in dB SPL für Alta NAL-NL2

Die MPO für den Hochtonschrägabfall beginnt bei 200 Hz mit 84,1 dB, steigt auf ein Plateau im Bereich von 335 Hz bis 1120 Hz von 91 dB. Steigt dann auf ein weiteres Plateau bei 1,5 kHz bis 2 kHz von 97,80 dB und erreicht ein Maximum bei 3 kHz von 102,11 dB und fällt danach leicht auf 97,79 dB bei 5 kHz. Und mündet wieder in ein Plateau von 6,3 kHz bis 8 kHz von 84 dB.

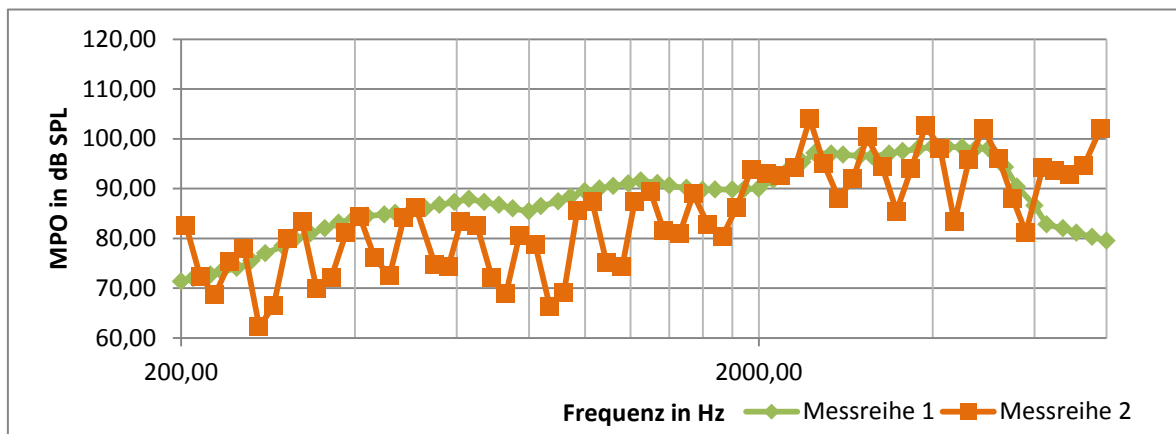


Abb. 4.9: Hochtonschrägabfall (Max) MPO in Abhängigkeit der Frequenz in dB SPL für Antaro NAL-NL2

Das Antaro steigt von 200 Hz von 71,3 dB auf 84,2 dB bei 400 Hz. Dann folgt ein Plateau von 86 dB bis 91,8 dB bis 2120 Hz. Steigt darauf auf ein maximales Plateau von 98,5 dB von 3 kHz bis 5 kHz und fällt dann auf 79,51 dB bei 8 kHz.

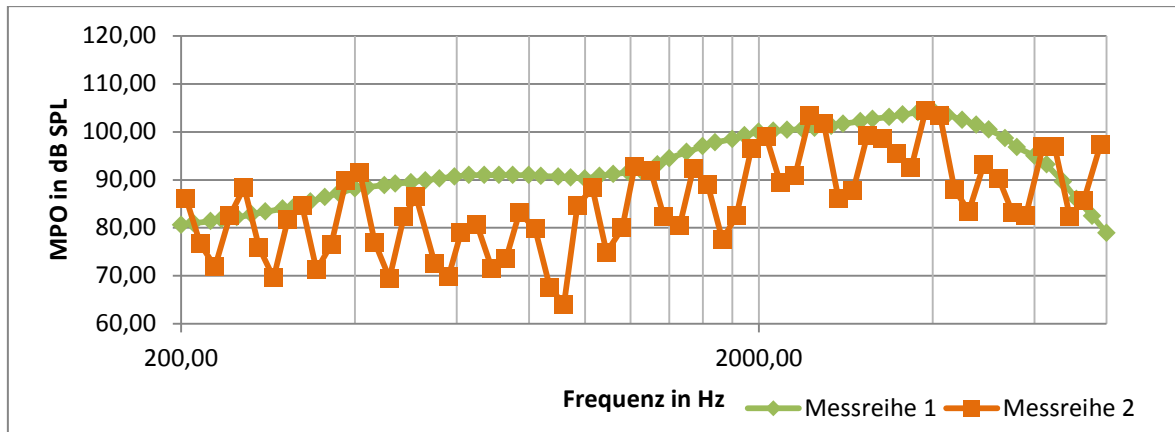


Abb. 4.10: Hochtonschrägabfall (Max) MPO in Abhängigkeit der Frequenz in dB SPL für Bolero NAL-NL2

Das Bolero beginnt bei 200 Hz mit 80,6 dB und steigt auf ein Plateau bei 450 Hz bis 1250 Hz von 90 dB. Steigt dann stetig auf 104,5 dB bei 4 kHz. Und fällt stark auf 78,9 dB bei 8 kHz.

4.2.1 Abweichung der MPO zur UCL in dB HL

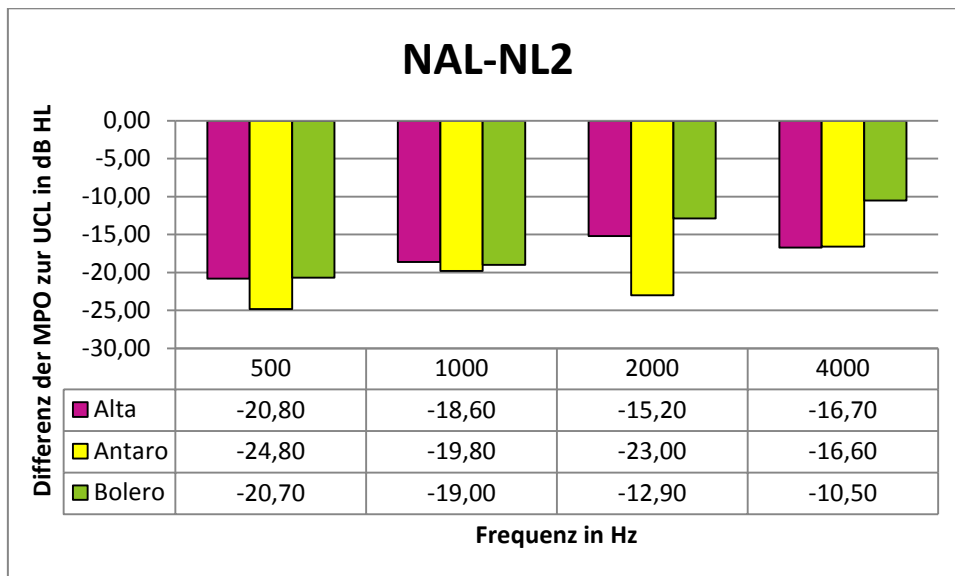


Abb. 4.11: Hochtonschrägabfall (Max) Abweichung der MPO in Bezug auf die UCL in den Hauptfrequenzen für NAL-NL2

Bei 500 Hz weicht das Antaro mit -24,8 dB am weitesten von der UCL ab, gefolgt vom Alta mit -20,8 dB und dem Bolero mit 20,7 dB. Das Antaro beschreibt Abweichungen für 1 kHz -19,8 dB, 2 kHz -23 dB und 4 kHz -16,7 dB.

4.2.2 Abweichung der MPO zur 80 Isophone in dB SPL

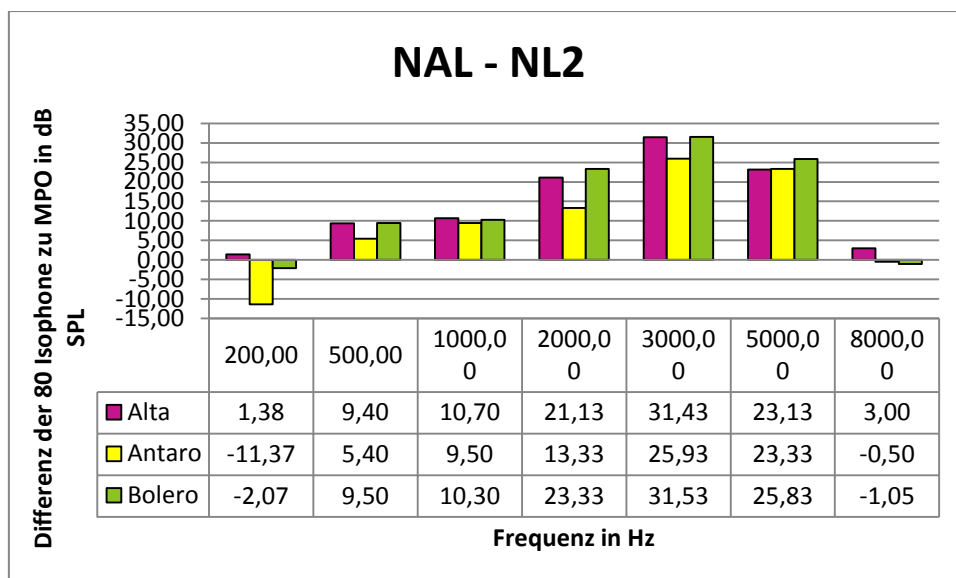


Abb. 4.12: Hochtonschrägabfall (Max) MPO Abweichung zur 80 Isophone in dB SPL

Das Antaro weicht bei 200 Hz -11,37 dB von der Isophone ab. Steigt ab 500 Hz bis 3 kHz auf eine Abweichung von 25,93 dB an, und fällt über 23,33 dB bei 5 kHz auf -0,5 dB für 8 kHz. Das Alta beschreibt einen ähnlichen Verlauf, startet bei 200 Hz mit 1,38 dB und steigt auf 31,43 dB bei kHz an, und fällt auf eine Abweichung von 3 dB. Das Bolero verhält sich gleich, es steigt von -2,07 dB bei 200 Hz auf 31,53 dB bei 3 Hz und fällt auf -1,05 dB bei 8 kHz.

4.2.3 Kurvenverlauf Außerhalb der UCL in dB SPL

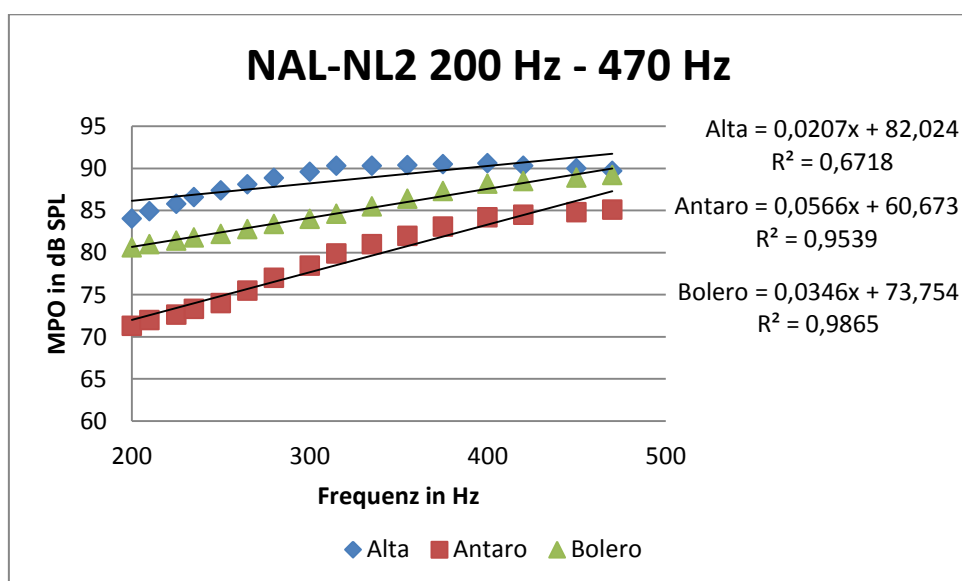


Abb. 4.13: Hochtonschrägabfall (Max) MPO Verlauf von NAL-NL2 in 200 Hz bis 470 Hz

Die Korrelation für das Alta beträgt $r=0,8196$, für das Antaro ist $r=0,9767$ und für das Bolero beträgt $r=0,9932$. Die hohen Korrelationskoeffizienten beweisen einen starken linearen Zusammenhang.

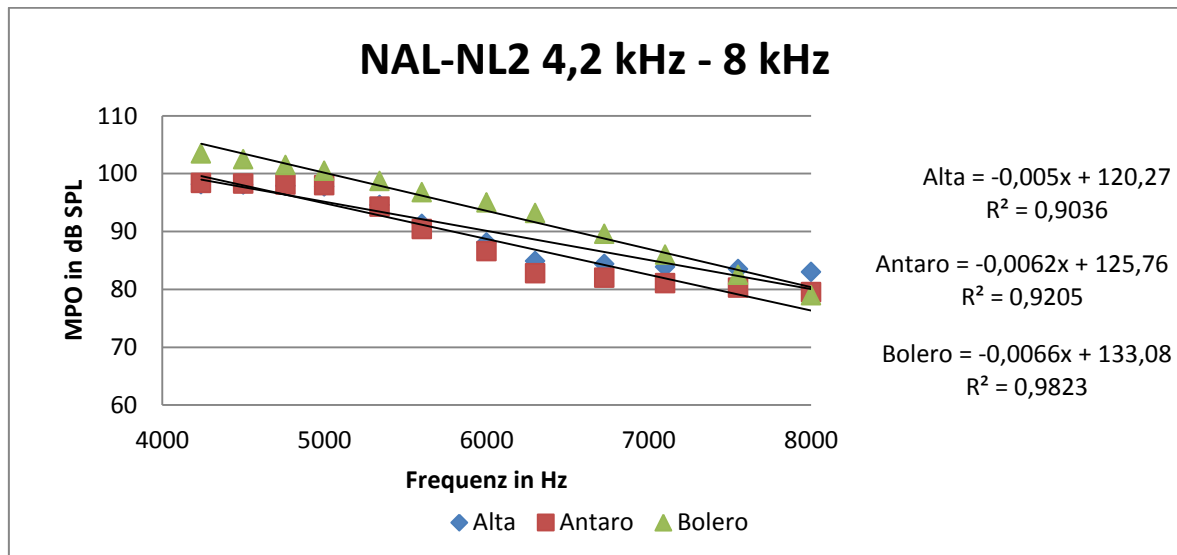


Abb. 4.14: Hochtonschrägabfall (Max) MPO Verlauf von NAL-NL2 in 4,2 kHz bis 8 kHz

Die Korrelation für das Alta ist $r=-0,9506$, für das Antaro ist $r=-0,9594$ und für das Bolero ist $r=-0,9911$.

4.3 DSL v5.0 Hochtonteilabfall

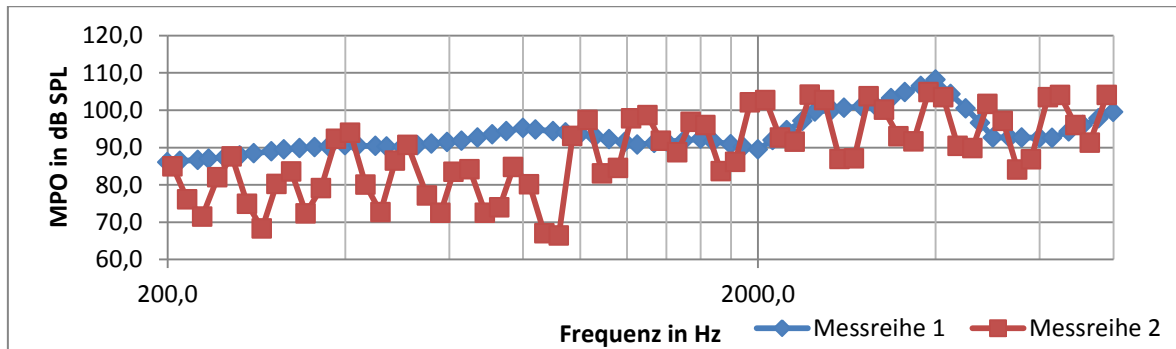


Abb. 4.15: Hochtonteilabfall (Marc) MPO in Abhängigkeit der Frequenz in dB SPL für Alta DSL v5.0

Das Alta erzeugt 86 dB bei 200 Hz und steigt auf ein Plateau von 90 dB bei 375 Hz bis 530 Hz. Bei 800 Hz erreicht die MPO 95 dB und fällt dann wieder auf einen Sockel von 91 dB im Bereich von 1190 Hz bis 2 kHz. Steigt danach auf ein weiteres Plateau bei 2,5 kHz bis 3150 Hz von 101 dB, dann weiter auf 108 dB bei 4 kHz und fällt dann wieder auf 93 dB bei 5 kHz bis 6 kHz und steigt erneut auf 100 dB bei 8 kHz.

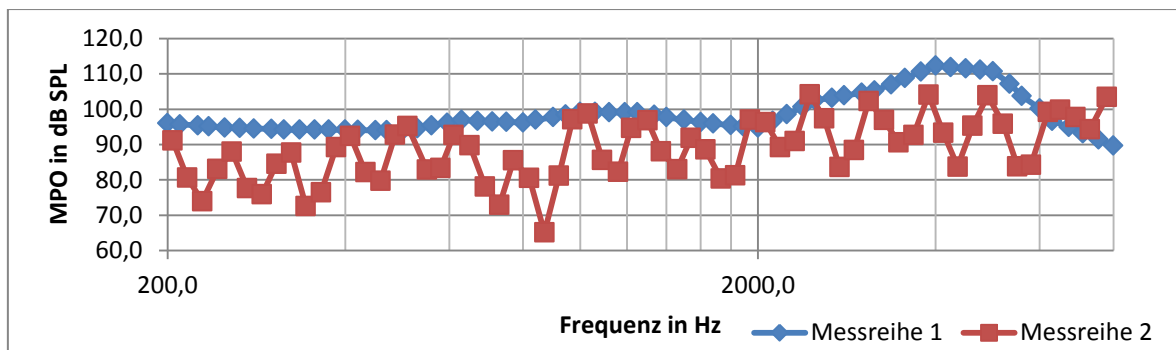


Abb. 4.16: Hochtonteilabfall (Marc) MPO in Abhängigkeit der Frequenz in dB SPL für Antaro DSL V5.0

Das Antaro beginnt mit 96 dB bei 200 Hz und fällt auf 94 dB bei 500 Hz. Steigt auf 97 dB bei 630 Hz auf 99,1 dB bei 1250 Hz und mündet in ein 94,8 dB Tal bei 2 kHz. Steigt von den 94,8 dB auf den Maximalwert 112,3 dB bei 4 kHz und fällt über 110,7 dB bei 5 kHz auf 89,7 dB bei 8 kHz.

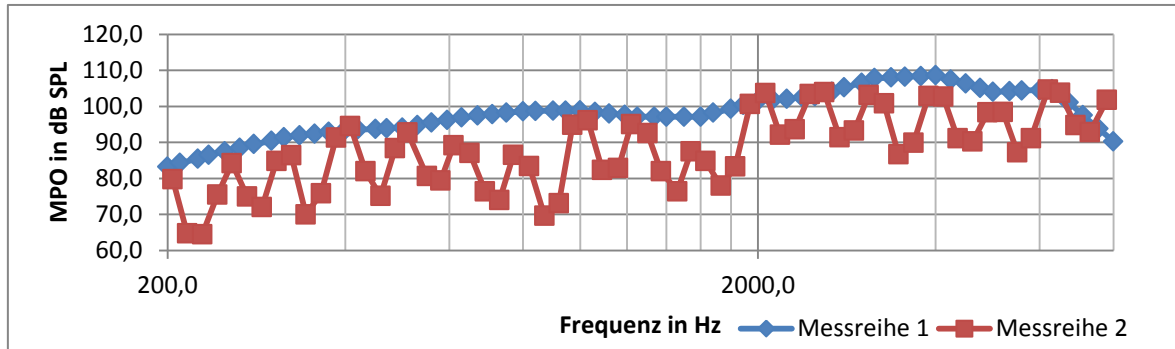


Abb. 4.17: Hochtonteilabfall (Marc) MPO in Abhängigkeit der Frequenz in dB SPL für Bolero DSL V5.0

Das Bolero beginnt mit 83,3 dB bei 200 Hz und steigt auf 98,7 dB bei 800 Hz und fällt leicht auf 97,1 dB bei 1600 Hz. Das Maximum erreicht das Bolero bei 4 kHz mit 108,6 dB und fällt auf ein Plateau im Bereich von 5 kHz bis 6,3 kHz von 104 dB und mündet in 90,3 dB bei 8 kHz.

4.3.1 Abweichung der MPO zur UCL in dB HL

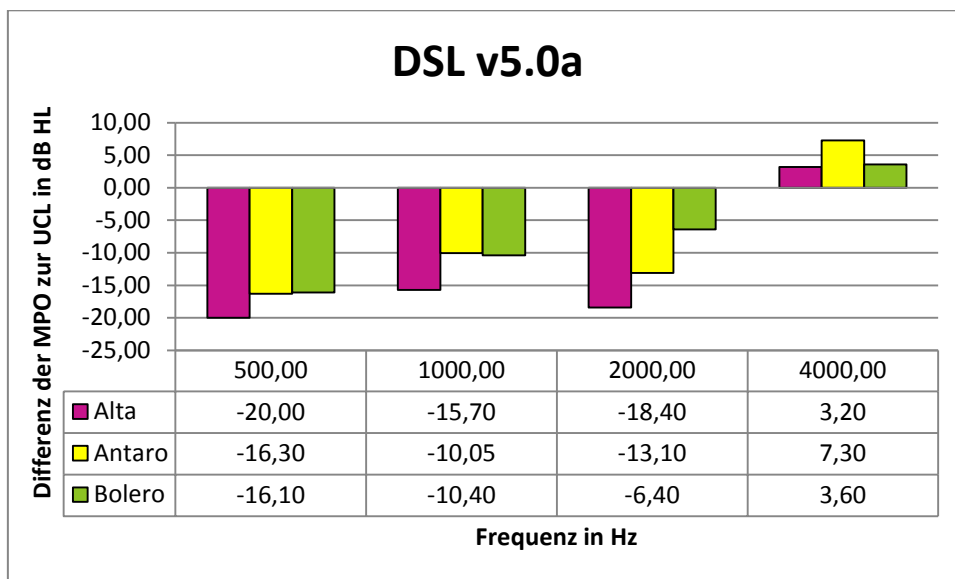


Abb. 4.18: Hochtonteilabfall (Marc) Abweichung der MPO in Bezug auf die UCL in den Hauptfrequenzen in dB HL

Das Alta weist mit der DSL Formel die größte Abweichung bei 500 Hz mit -20 dB im Herstellervergleich auf, gefolgt vom Antaro mit -16,3 dB und dem Bolero mit -16,1 dB. Alle drei Hörgeräte unterschreiten die UCL bis minimal 6,4 dB bis 2 kHz, bei 4 kHz wird die UCL von allen Hörgeräten von 3,2 dB bis 7,3 dB überschritten.

4.3.2 Abweichung der MPO zu den DSL Targets in dB SPL

Tab. 4.1: Verifit Target in dB SPL

Frequenz	250	500	750	1k	1,5k	2k	3k	4k	6k
Marc	105,80	98,70	99,30	101,10	101,00	99,20	99,50	99,80	101,10

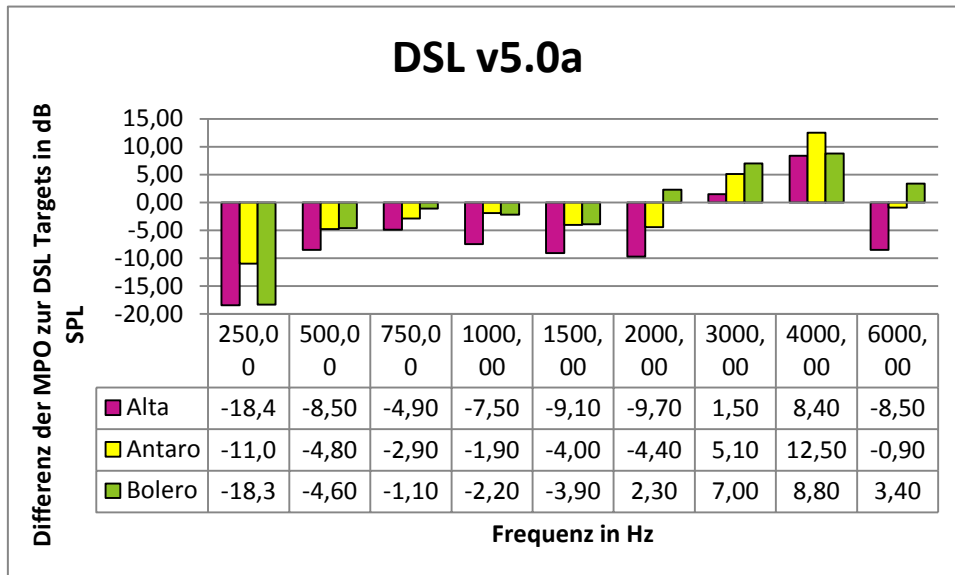


Abb. 4.19: Hochtonteilabfall (Marc) Vergleich der MPO zu DSL Targets in dB SPL

Das Alta hat mit dem Bolero bei 250 Hz eine Abweichung von -18,45 dB und -18,3 dB. Das Antaro hat -11 dB bei 250 Hz. Im Bereich von 500 Hz bis 2 kHz beschreibt das Alta die größte negative Abweichung von -4,9 dB auf -9,7 dB. Die beiden anderen Geräte zeigen geringere Werte. Bei 4 kHz weicht das Antaro mit +12,5 dB gefolgt vom Bolero mit 8,8 dB und dem Alta mit 8,4 dB ab. Für 6 kHz zeigt das Bolero 3,4 dB, das Antaro -0,9 dB und das Alta -8,5 dB.

4.3.3 Kurvenverlauf Außerhalb der UCL in dB SPL

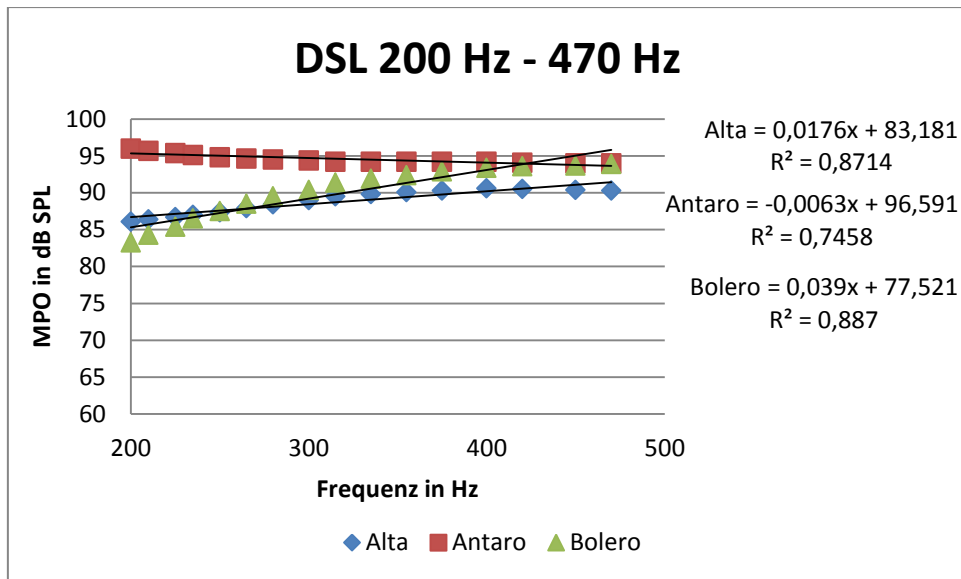


Abb. 4.20: Hochtonteilabfall (Marc) MPO Verlauf von DSL v5.0 in 200 Hz bis 470 Hz

Die Korrelation für Alta ist $r=0,9335$, für das Bolero $r=0,9418$ und für das Antaro $r=-0,8636$. Der hohe Korrelationskoeffizient zeigt einen starken linearen Zusammenhang zwischen den Messwerten und der Frequenz.

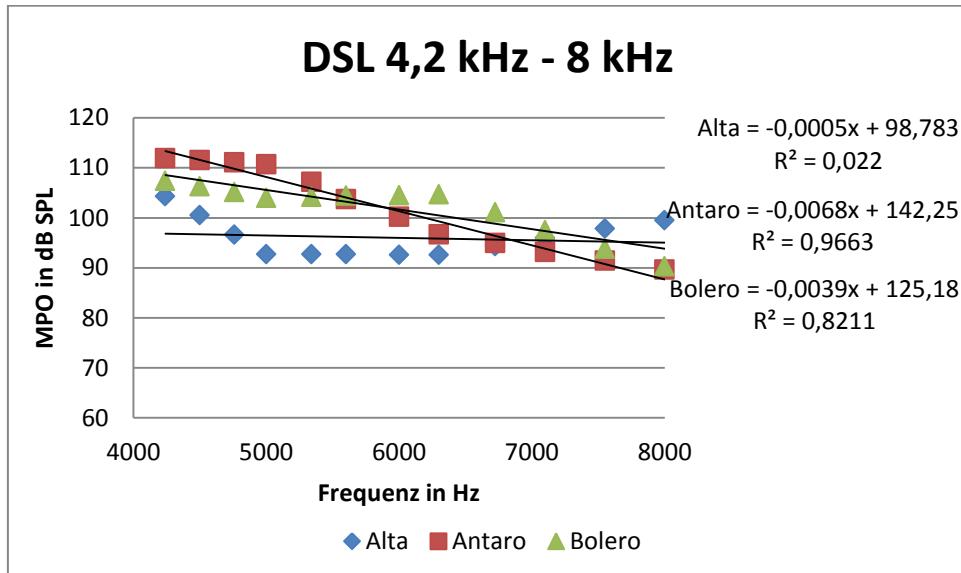


Abb. 4.21: Hochtonteilabfall (Marc) MPO Verlauf von DSL v5.0 in 4,2 kHz bis 8 kHz

Die Korrelation für das Alta ist $r=-0,1484$, für das Antaro ist $r=-0,9830$ und für das Bolero ist $r=-0,9061$. Die hohen Korrelationskoeffizienten zeigen einen hohen negativen Zusammenhang für das Antaro und Bolero an, das Alta hat einen sehr schwachen bis keinen linearen Zusammenhang.

4.4 DSL v5.0 Hochtonschrägabfall

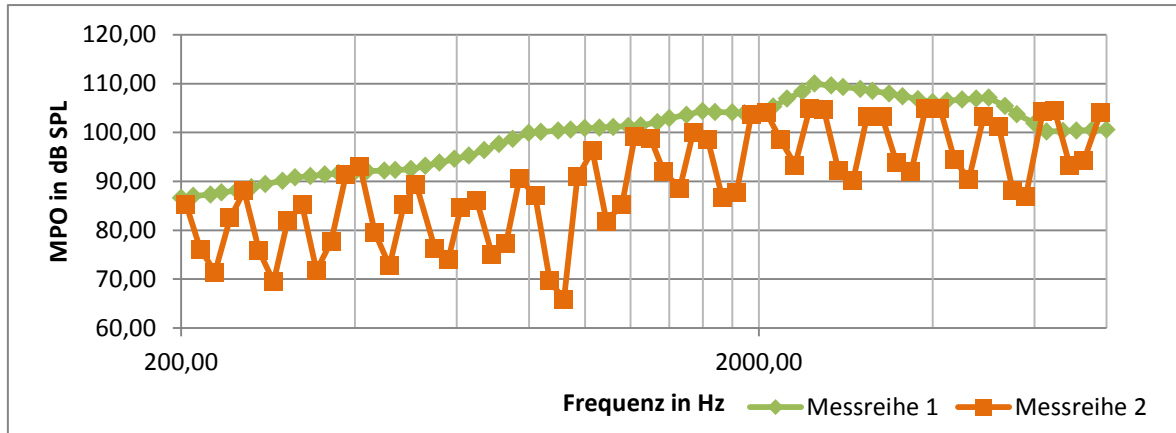


Abb. 4.22: Hochtonschrägabfall (Max) MPO in Abhängigkeit der Frequenz in dB SPL für Alta DSL V5.0

Das Alta beginnt mit 86,6 dB bei 200 Hz und steigt über 100 dB bei 800 Hz auf 104,4 dB bei 1,6 kHz auf einen Spitzenwert von 110 dB bei 2,5 kHz. Mündet in ein Plateau von 106,8 dB bei 4 kHz bis 5 kHz. Fällt anschließend über 6,3 kHz mit 100,2 dB auf 100,6 dB bei 8 kHz.

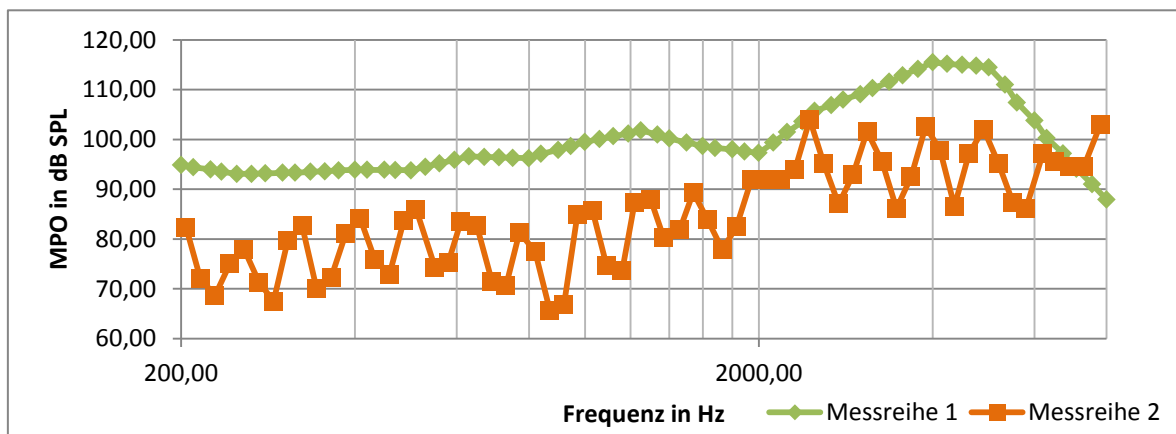


Abb. 4.23: Hochtonschrägabfall (Max) MPO in Abhängigkeit der Frequenz in dB SPL für Antaro DSL V5.0

Das Antaro beschreibt ein Plateau von 200 Hz bis 530 Hz mit 94,5 dB steigt dann über 96,3 dB bei 750 Hz auf ein erstes Maximum bei 1190 Hz mit 101,2 dB, verläuft über ein Tal bei 2 kHz mit 97,3 dB und steigt auf das höchste Maximum bei 4 kHz mit 115,50 dB. Die MPO fällt leicht auf 114,8 dB bei 4760 Hz und mündet in 87,95 dB bei 8 kHz.

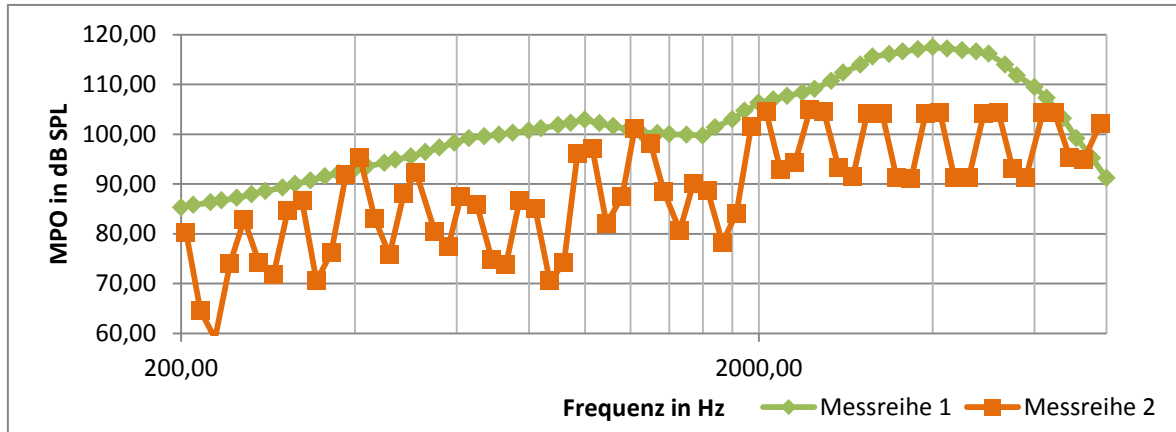


Abb. 4.24: Hochtonschrägabfall (Max) MPO in Abhängigkeit der Frequenz in dB SPL für Bolero DSL V5.0

Das Bolero beginnt mit 85,3 dB bei 200 Hz und gelangt über eine Kuppe bei 1 kHz von 102,9 dB auf 99,7 dB bei 1,6 kHz. Nach diesem Absatz steigt die MPO über 115,6 bei 3150 Hz auf 117,5 dB bei 4 kHz und beginnt den Abfall bei 5 kHz mit 116,2 dB auf 91,2 dB bei 8 kHz.

4.4.1 Abweichung der MPO zur UCL in dB HL

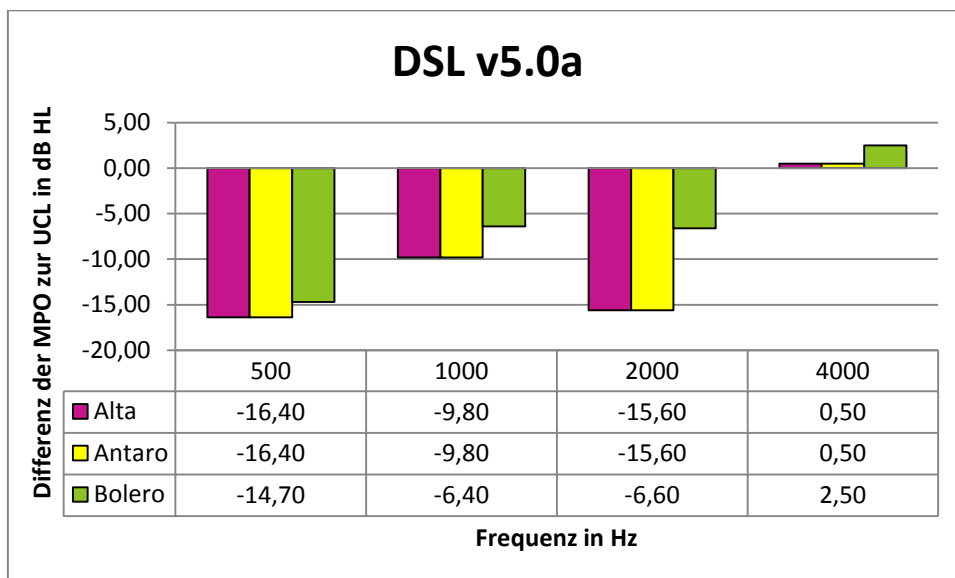


Abb. 4.25: Hochtonschrägabfall (Max) Abweichung der MPO in Bezug auf die UCL in den Hauptfrequenzen für DSL v5.0

Das Alta und Antaro weichen bei 500 Hz -16,4 dB und bei 2 kHz -15,6 dB von der UCL ab, das Bolero nur -14,7 dB bei 500 Hz und nur 6,6 dB bei 2 kHz. Bei 4 kHz wird die Schwelle von Alta und Antaro 0,5 dB überschritten, vom Bolero 2,5 dB.

4.4.2 Abweichung der MPO zu den DSL Targets in dB SPL

Tab. 4.2: Verifit Target in dB SPL

Frequenz	250	500	750	1k	1,5k	2k	3k	4k	6k
Max	105,80	99,00	99,90	101,50	103,90	103,70	105,30	106,90	108,30

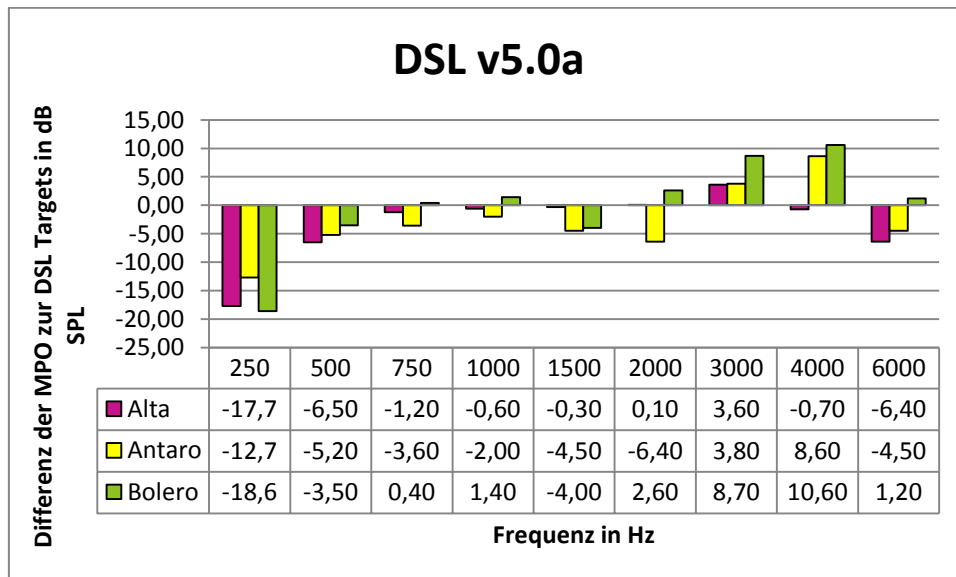


Abb. 4.26: Hochtonschrägabfall (Max) MPO im Vergleich mit DSL Targets in dB SPL

Bolero, Alta und Antaro haben die größte Abweichung bei 250 Hz mit -18,6 dB, -17,7 dB, -12,7 dB. Im Bereich von 500 Hz bis 2 kHz schwanken die MPOs im Bereich von -6,5 dB bis 1,4 dB. Das Bolero hat 8,7 dB bei 3 kHz und 10,6 dB bei 4 kHz.

4.4.3 Kurvenverlauf Außerhalb der UCL in dB SPL

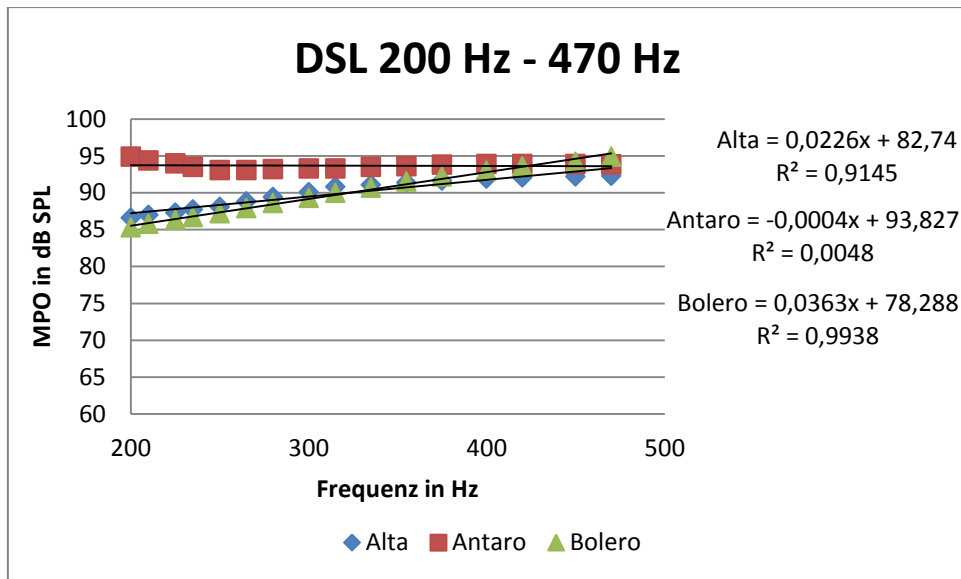


Abb. 4.27: Hochtonschrägabfall (Max) MPO Verlauf von DSL v5.0 in 200 Hz bis 470 Hz in dB SPL

Die Korrelation für das Alta beträgt $r=0,9563$, für das Antaro ist $r=-0,0693$ und für das Bolero ist $r=0,9969$. Das Antaro hat kaum Korrelation, hingegen liegen das Bolero und Alta fast auf der Trendlinie.

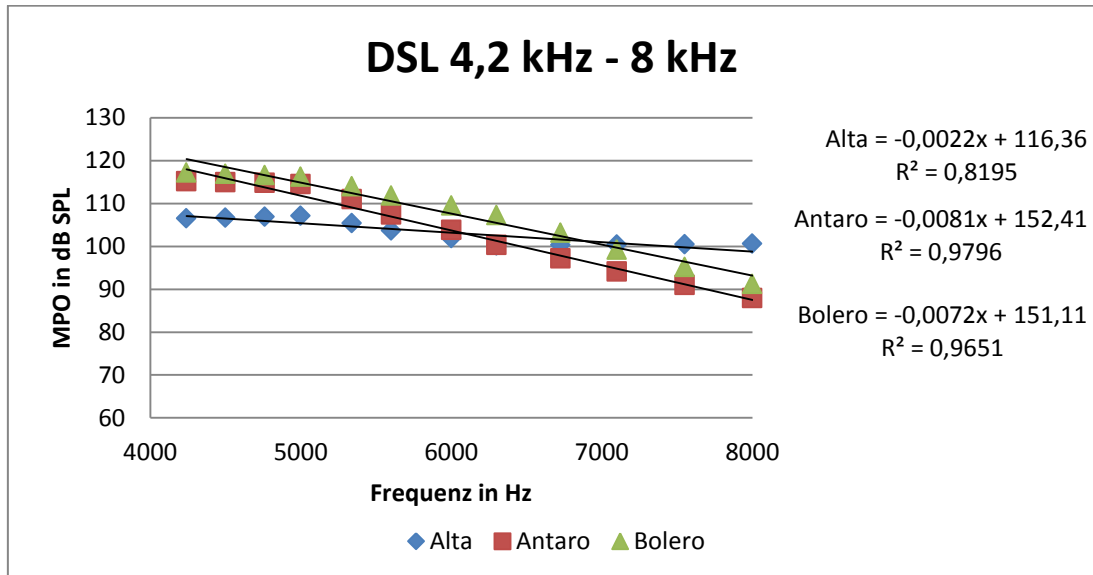


Abb. 4.28: Hochtonschrägabfall (Max) MPO Verlauf von DSL v5.0 in 4,2 kHz bis 8 kHz in dB SPL

Die Korrelation für das Alta ist $r=-0,9053$ und für das Antaro ist $r=-0,9898$ und für das Bolero beträgt $r=-0,9824$. Für die hohen Frequenzen mit DSL werden wieder sehr hohe lineare Zusammenhänge mit starker negativer Korrelation gemessen.

5 Interpretation/Diskussion

Die Tests auf Normalverteilung ergaben kein eindeutiges Ergebnis. Dies ist darauf begründet, dass in einigen Fällen keine Streuung vorliegt und in anderen Fällen die Verteilung rechtsschief ist. Somit wird von nicht Normalverteilung ausgegangen. Für die exakten Ergebnisse siehe Daten CD 1 Test auf Normalverteilung.

Für den Test auf Unterschied in den Stichproben zwischen den Hörsystemen (siehe Anhang A) ergeben sich H - Wert die den kritischen Wert überschreiten, d.h. $H > H_{\text{krit}} \text{ df}=2 \alpha=0,1\%$ und somit unterscheiden sich die Stichproben auf höchst signifikantem Niveau für die Audiometerfrequenzen.

5.1 NAL-NL2

5.1.1 Hochtonteilabfall

Wie in Abb. 4.1 bis 4.3 gezeigt, unterscheiden sich die MPO Verläufe gravierend, die größten Abweichungen sind bei 200 Hz bis 300 Hz zu beobachten, obwohl die Konfiguration der Hörsysteme gleich sind, gibt es hier sichtbare Unterschiede. Des Weiteren unterscheiden sich die Kurven in der Gestaltung der „Gehörgansresonanz“ bei 3 bis 4 kHz, das Bolero und das Antaro beschreiben einen plateauähnlichen Verlauf, hingegen zeigt das Alta eine deutliche Spitze bei 4 kHz. Wird die MPO der Hörsysteme in Bezug zur Hörschwelle als oberste Grenze gesetzt, zeigen sich bei NAL-NL2 maximale Abweichungen von bis zu -24,9 dB HL, dieser Unterschied wird bis auf 4 kHz ausgeglichen. Diese Balkendiagramme verdeutlichen, dass in den Bändern 500 Hz bis 2 kHz die Unbehaglichkeit bis auf -10 dB angenähert wird. Die Unbehaglichkeit wird nur bei 4 kHz erreicht. Bei 4 kHz ist der Verstärkungsbedarf sehr hoch, hier beträgt der HV 60 dB, somit wird hier die Dynamik maximal ausgenutzt. Setzt man die MPO in Bezug zur 80 Isophone, die der Lautheitsempfindung eines Normalhörenden entspricht. Für den Hochtonteilabfall zeigt das Antaro mit NAL-NL2 die geringsten Abweichungen bezogen auf die 80 Isophone. Das Alta und das Bolero erfüllen diese Forderung nur bei 200 Hz und 8 kHz. Die anderen MPO Werte zeigen bei

beiden Hörsystemen Abweichungen bis zu 31,6 dB, d.h. die MPO von NAL-NL2 kann von der 80 Isophone für das Bolero und Alta nicht als Beschreibung genügen. Der Hersteller hat die Formel verändert.

Der MPO Verlauf von 200 Hz bis 470 Hz zeigen hohe lineare Zusammenhänge auf. Das Alta beginnt am höchsten Wert und hat im Vergleich die geringste Steigung. Die Werte für 470 Hz liegen im Bereich von 85 dB bis 90 dB. Das Antaro hat den geringsten Startwert und steigt am stärksten. In Abb. 4.7 ist der lineare Zusammenhang geringer, die Messwerte besitzen einen größeren Abstand zur Trendlinie als im tiefen Frequenzbereich. Das Antaro verweilt auf einem Maximalwert bis 5 kHz und fällt danach ab, das Bolero beschreibt einen leicht asymptotischen Verlauf. Alles in allem wird das Kompressionsverhältnis in den tiefen und hohen Frequenzen erhöht um keine Unbehaglichkeit auszulösen.

5.1.2 Hochtonschrägabfall

Beim Hochtonschrägabfall verringert NAL-NL2 die Verstärkung noch stärker, dies ist ersichtlich aus Abb. 4.11. Die Maximalabweichung sind bei 500 Hz und 1 kHz im Bereich von -24,8 dB bis -19,8 dB. Das Antaro grenzt am Stärksten ein, gefolgt vom Alta und vom Bolero, die mit steigender Frequenz mehr Dynamik bieten. Jedoch liegen die Abweichungswerte für alle Systeme unterhalb der Unbehaglichkeit, somit kann bei Sprachverständlichkeitsproblemen die MPO um mindestens 10 dB angehoben werden ohne dabei Unbehaglichkeit Auszulösen. Setzt man den Focus wieder auf die 80 Isophone, die das eigentliche Oberziel ist, sind ähnliche Verläufe zu Abb. 4.5 zu sehen, überschreitet jetzt das Antaro die 80 Isophone genauso wie die anderen Geräte, mit dem Maximum bei 3 kHz mit einem Ausgleich auf 8 kHz. Die Isophone ist nicht beschreibend für die MPO.

Vergleicht man den Verlauf der MPO Abb. 4.13 den Hochtonschrägabfall mit Abb. 4.6 dem Hochtonteilabfall ist ersichtlich, dass die Kurvenverläufe sich stark ähneln, die Startpunkte in Abb. 4.6 sind nur vom Wert geringer. Die Endwerte, die bei 470 Hz erreicht werden, liegen wieder in den Bereich von 85 dB bis 90 dB. Für den hochfrequenten Bereich ist ein ähnliches Verhalten ersichtlich. Hier liegen die MPO Werte der Geräte näher zusammen, beschreiben aber denselben Verlauf

wie in Abb. 4.7. Das Antaro zeigt geringere Werte, hingegen gibt das Bolero größere Dynamik.

5.2 DSL v5.0

5.2.1 Hochtonteilabfall

In Abb. 4.15 bis Abb. 4.17 ist ersichtlich, dass das Antaro mit DSL für den Hochtonteilabfall bei 200 Hz die höchste Tieftonverstärkung bereitstellt, es steigt aber nicht in der Verstärkung mit steigender Frequenz wie das Bolero. Das Antaro beschreibt die geringste Verstärkung bis 3 kHz. Das Bolero überträgt breitbandiger im hohen Frequenzbereich, den Maximalwert erreicht das Antaro mit 112,30 dB bei 4 kHz. Vgl. Abb. 4.21. Setzt man die MPO in Bezug zur UCL, die die oberste Grenze beschreibt, ergeben sich für das Alta die größten negativen Abweichungen mit bis zu -20 dB bei 500 Hz. Problematisch ist, dass bei 4 kHz die Unbehaglichkeitsschwelle von allen drei Geräten von 3,2 dB bis 7,3 dB überschritten wird, eigentlich ist das nicht möglich, da die ULC 3 dB unterhalb der UCL liegt. (Vgl. 2.2.1) Vergleiche der MPO mit den Verifittargets von DSL zeigen eine Unterschreitung der Werte bis 2 kHz, danach wird auch hier das Ziel von allen drei Herstellern überschritten. Das Alta bis 8,4 dB, Bolero 8,8 dB und das Antaro bis zu 12,5 dB.

Im Bereich von 200 Hz bis 470 Hz hat das Antaro einen negativen linearen Zusammenhang mit geringem Gefälle, das die oben genannte Breitbandigkeit unterstreicht. Das Bolero und das Alta starten bei geringeren Werten und steigen steiler. Die Werte bei 470 Hz liegen im Bereich von 90 dB bis 95 dB. Im hohen Frequenzbereich hat das Alta kaum Korrelation zur Trendlinie, es fällt auf ein Plateau und steigt danach wieder an. Das Bolero und das Antaro beschreiben beide eine fallende Tendenz.

5.2.2 Hochtonschrägabfall

In Abb. 4.25 ist ersichtlich, dass das Alta bezogen auf die UCL neben dem Antaro höhere negative Abweichungen haben als das Bolero. Hingegen überschreitet das Bolero bei 4 kHz die UCL, welche das Alta und Antaro nicht überschreiten.

Gleiches Verhalten ist in Abb. 4.26 ersichtlich, das Bolero überschreitet mit dem Antaro die Targets im Bereich von 3 kHz bis 4 kHz. Das Alta trifft die Targets mit ± 5 dB im Bereich von 750 Hz bis 4 kHz.

In Abb. 4.27 zeigt das Antaro wieder das leicht fallende Verhalten hingegen das Bolero und Alta steigen mit steigender Frequenz. Das Antaro hat keine Korrelation. Betrachtet man Abb. 4.28 Zeigen alle Hörsysteme eine hohe Korrelation.

5.3 Messreihe 2

Abschließend noch der Vergleich vom Verifikationsmodus zum Tragemodus mit binauraler Verarbeitung. Diese Messreihe ist nur zur Verdeutlichung, dass es keine gravierenden Unterschiede zwischen Verifikationsmodus und Tragemodus gibt. Zur besseren Übersichtlichkeit werden die Medianwerte in Abb. 4.1 bis Abb. 4.3; Abb. 4.8 bis Abb. 4.10; Abb. 4.15 bis Abb. 4.17; Abb. 4.22 bis Abb. 4.24 grafisch dargestellt.

Generell ist den Daten die Tiefpasswirkung des 2ccm Kupplers zu entnehmen, die Messwerte des Kupplers ab 4 kHz unter der Kemar Messung liegen. Des Weiteren ist eine Interpolierung der Kuppler Messwerte ersichtlich. Der tone burst wird in seinem tatsächlichen Verlauf besser vom Kemar wiedergegeben. Zu beachten ist das die Verifit im FF 85 dB Schalldruck erzeugt und in der Messbox 90 dB „tone burst“ erzeugt. Der Kemar hat das gleiche Messignal aufgezeichnet in dB SPL mit dem Focus auf PEAK, d.h. für den Maximalpegel pro $\frac{1}{12}$ Oktavband im Gehörgang. Bis auf einige Abweichungen werden die MPO Grenzen in beiden Messsituationen für den Hochtonsteilabfall in DSL und NAL erreicht. Beim Hochtonschrägabfall schafft es das 85 dB Messsignal, die Hörsysteme Antaro komplett und das Bolero bei 1 kHz und von 3-6 kHz nicht in den Sättigungsbereich zu bringen, hier liegen die Kemar Kurven unter der Kuppler Kurve.

6 Resümee

Das Bolero stellt für die Formel NAL-NL2 für beide Hörverluste die meiste Dynamik bereit, gefolgt von dem Alta und Schlusslicht ist das Antaro. Betrachtet man Abb. 4.5 trifft aber das Antaro die 80 Isophone für den Hochtonsteilabfall am Besten, die beiden anderen Geräte überschreiten sie sehr stark.

Für die Formel DSL v5.0 ist das Bolero das Beste in der Ausnutzung der Restdynamik, gefolgt vom Antaro und dem Alta (Abb. 4.18 Abb. 4.25). In Bezug auf die DSL Zielwerte ist das Bolero mit einer gemittelten Abweichung für -0,96 dB für den Hochtonsteilabfall und -0,13 dB für den Hochtonschrägabfall vor dem Antaro mit -1,37 dB / -2,94 dB und dem Alta mit -6,31 dB / -3,30 dB.

Literaturverzeichnis

Google-Ergebnis

für

<http://www.bksv.com/~media/38BD1019B6C74F50B62B7C6C507FCCA>
[C.ashx%3Fmh%3D170%26mw%3D580%26bc%3Dwhite.](http://www.bksv.com/~media/38BD1019B6C74F50B62B7C6C507FCCA) Online
verfügbar unter
<http://www.google.de/imgres?sa=X&biw=1280&bih=685&tbm=isch&tbid=lcXWibeGf9aKHM:&imgrefurl=http://www.bksv.com/products/transducers/ear-simulators/head-and-torso/hats-type-4128c.aspx&docid=uab4-ZP-77k8GM&imgurl=http://www.bksv.com/~media/38BD1019B6C74F50B62B7C6C507FCCAC.ashx%253Fmh%253D170%2526mw%253D580%2526bc%253Dwhite&w=580&h=170&ei=bGtzUqm-A4bTtAadk4GoAg&zoom=1&iact=hc&vpx=387&vpy=229&dur=426&hovh=121&hovw=415&tx=253&ty=85&page=1&tbnh=82&tbnw=282&start=0&ndsp=32&ved=1t:429,r:3,s:0,i:91>, zuletzt geprüft am 01.11.2013.

Audioscan (2012): Verifit Manual. Canada. Online verfügbar unter <http://audioscan.com/Docs/vfmanual.pdf>, zuletzt geprüft am 12.10.2013.

Bortz, Jürgen (2005): Statistik. Für human- und sozialwissenschaftler sechste. Wein: Springer.

Dillon, Harvey (2012): Hearing aids. 2. Aufl. Sydney: Boomerang Press; New York; Thieme [distributor].

Dillon, Harvey; Keidser, Gitte; Ching, Teresa; Flax, Matthew; Brewer, Scott (2011): Das NAL-NL2 Anpassverfahren. In: *Focus* 2011, 14.04.2011 (40), S. 1–11. Online verfügbar unter http://www.phonak-informationen.de/data/files/com_focus_40.pdf, zuletzt geprüft am 21.04.2011.

Dr. med. Andrea Gontard (2008): Hoersturz.de. Online verfügbar unter http://www.hoersturz.de/grafiken/ohr_aufbau.gif, zuletzt aktualisiert am 17.04.2008, zuletzt geprüft am 04.11.2013.

EHIMA TC (Hg.): Realistic Assessment of Speech Amplification. Unter Mitarbeit von Jennifer Groth Todd Fortune. Online verfügbar unter <http://www.google.de/#q=http%3A%2F%2Fwww.blog-audioprothesiste.fr%2Fwp-content%2Fuploads%2F2010%2F11%2FElaboration-de-IISTS.pdf>, zuletzt geprüft am 09.09.2013.

Fastl, H.; Zwicker, Eberhard (2007): Psychoacoustics. Facts and models. 3. Aufl. Berlin, New York: Springer (Springer series in information sciences, 22).

Frank Geisler (2010): Innenohr Hörorgan, Corti-Organ - Frank Geisler - DocCheck Pictures. Online verfügbar unter <http://pictures.doccheck.com/de/photos/54911/10815/innenohr-hoerorgan-corti-organ/>, zuletzt geprüft am 04.11.2013.

Hellbrück, Jürgen; Ellermeier, Wolfgang (2004): Hören. Physiologie, Psychologie und Pathologie. 2. Aufl. Göttingen [u.a.]: Hogrefe, Verl. für Psychologie.

Hoffmann, Eckhard; Ulrich, Jens; Hemmerich, Yvonne (2006): Hörakustik-Basics. Heidelberg: DOZ-Verl.

Keidser, Gitte; Dillon, Harvey: What's New in Prescriptive Fittings Down Under? In: *Hearing Care for Adults* 2006, S. 133–142.

Lehnhardt, Ernst (2009): Praxis der Audiometrie. 9. Aufl. Stuttgart: Thieme.

Pascoe, David Pedro (1988): Clinical measurements of the auditory dynamic range and their relation to formulas for hearing aid gain. In: *Hearing aid fitting: Theoretical and practical views*, S. 129–152.

- Popp, Paul O.; Hackett, Gregg (2002): The hearing healthcare practitioner's handbook. 1. Aufl. Santa Rosa, Calif: North American Institute for Auditory Prosthetics.**
- Schaub, Arthur (2005): Digitale Hörgeräte. Was steckt dahinter? Heidelberg: Median-Verlag.**
- Scollie, Susan; Seewald, Richard; Cornelisse, Leonard; Moodie, Sheila; Bagatto, Marlene; Larnagaray, Diana et al.: The Desired Sensation Level Multistage Input/Output Algorithm 2005 (4), S. 159–197. Online verfügbar unter <http://tia.sagepub.com/cgi/content/abstract/9/4/159>, zuletzt geprüft am 07.06.2013.**
- Seewald, Richard C.; Tharpe, Anne Marie (2011): Comprehensive handbook of pediatric audiology. San Diego: Plural Pub.**
- Ulrich, Jens; Hoffmann, Eckhard (2011): Hörakustik. Theorie und Praxis. 2. Aufl. Heidelberg: DOZ-Verl.**
- Ulrich, Jens; Hoffmann, Eckhard (2012): Hörakustik. 1. Aufl. Heidelberg: DOZ Verl. (2).**
- Valente, Michael (2002): Strategies for selecting and verifying hearing aid fittings. 2. Aufl. New York: Thieme.**
- W.Sohn: "Schwerhörigkeit in Deutschland", Repräsentative Hörscreening-Untersuchung bei 2000 Probanden in 11 Allgemeinpraxen. In: *Zeitschrift für Allgemeinmedizin* 2001 (77), S. 143–147. Online verfügbar unter <http://www.schwerhoerigen-netz.de/MAIN/statistik.asp?inhalt=statistik00>, zuletzt geprüft am 03.11.2013.**

A Anhang

Marc NAL-NL2 Kruskal Wallis Test

250,00	250,00	250,00		500,00	500,00	500,00	
Antaro	Oticon	Phonak		Antaro	Oticon	Phonak	
56,0	56,0	56,0	n Anzahl	56,0	56,0	56,0	n Anzahl
168,0			N Gesamtanzahl	168,0			N Gesamtanzahl
1596,0	7868,0	4732,0	T Rangsummen	1596,0	4732,0	7868,0	T Rangsummen
45486,0	1105454,0	399854,0	T ² /n	45486,0	399854,0	1105454,0	T ² /n
α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2	α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2
5,991	6,635	10,828		5,991	6,635	10,828	
18714178,8			H	18714179			H
750,00	750,00	750,00		1000,00	1000,00	1000,00	
Antaro	Oticon	Phonak		Antaro	Oticon	Phonak	
56,0	56,0	56,0	n Anzahl	56,0	56,0	56,0	n Anzahl
168,0			N Gesamtanzahl	168,0			N Gesamtanzahl
1596,0	4732,0	7868,0	T Rangsummen	4732,0	1596,0	7868,0	T Rangsummen
45486,0	399854,0	1105454,0	T ² /n	399854,0	45486,0	1105454,0	T ² /n
α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2	α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2
5,991	6,635	10,828		5,991	6,635	10,828	
18714179			H	18714179			H
1500,00	1500,00	1500,00		2000,00	2000,00	2000,00	
Antaro	Oticon	Phonak		Antaro	Oticon	Phonak	
56,0	56,0	56,0	n Anzahl	56,0	56,0	56,0	n Anzahl
168,0			N Gesamtanzahl	168,0			N Gesamtanzahl
4732,0	1596,0	7868,0	T Rangsummen	4732,0	1596,0	7868,0	T Rangsummen
399854,0	45486,0	1105454,0	T ² /n	399854,0	45486,0	1105454,0	T ² /n
α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2	α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2
5,991	6,635	10,828		5,991	6,635	10,828	
18714179			H	18714179			H
3000,00	3000,00	3000,00		4000,00	4000,00	4000,00	
Antaro	Oticon	Phonak		Antaro	Oticon	Phonak	
56,0	56,0	56,0	n Anzahl	56,0	56,0	56,0	n Anzahl
168,0			N Gesamtanzahl	168,0			N Gesamtanzahl
1596,0	7299,0	5301,0	T Rangsummen	2112,0	7868,0	4216,0	T Rangsummen
45486,0	951346,4	501796,4	T ² /n	79652,6	1105454,0	317404,6	T ² /n
α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2	α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2
5,991	6,635	10,828		5,991	6,635	10,828	
18084471,4			H	18131335,7			H
6000,00	6000,00	6000,00		8000,00	8000,00	8000,00	
Antaro	Oticon	Phonak		Antaro	Oticon	Phonak	
56,0	56,0	56,0	n Anzahl	56,0	56,0	56,0	n Anzahl
168,0			N Gesamtanzahl	168,0			N Gesamtanzahl
4732,0	1596,0	7868,0	T Rangsummen	7172,5	5427,5	1596,0	T Rangsummen
399854,0	45486,0	1105454,0	T ² /n	918656,4	526031,4	45486,0	T ² /n
α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2	α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2
5,991	6,635	10,828		5,991	6,635	10,828	
18714178,8			H	17982405,4			H

Marc DSL v5.0 Kruskal Wallis Test

250,00	250,00	250,00		500,00	500,00	500,00	
Alta	Antaro	Phonak		Alta	Antaro	Phonak	
56,0	56,0	56,0	n Anzahl	56,0	56,0	56,0	n Anzahl
168,0			N Gesamtanzahl	168,0			N Gesamtanzahl
2472,5	7868,0	3855,5	T Rangsummen	1596,0	4868,0	7732,0	T Rangsummen
109165,3	1105454,0	265444,3	T ² /n	45486,0	423168,3	1067568,3	T ² /n
α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2	α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2
5,991	6,635	10,828		5,991	6,635	10,828	
17860361,6			H	18538280,8			H
750,00	750,00	750,00		1000,00	1000,00	1000,00	
Alta	Antaro	Phonak		Alta	Antaro	Phonak	
56,0	56,0	56,0	n Anzahl	56,0	56,0	56,0	n Anzahl
168,0			N Gesamtanzahl	168,0			N Gesamtanzahl
1596,0	4732,0	7868,0	T Rangsummen	1596,0	7860,5	4739,5	T Rangsummen
45486,0	399854,0	1105454,0	T ² /n	45486,0	1103347,5	401122,5	T ² /n
α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2	α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2
5,991	6,635	10,828		5,991	6,635	10,828	
18714178,8			H	18704063			H
1500,00	1500,00	1500,00		2000,00	2000,00	2000,00	
Alta	Antaro	Phonak		Alta	Antaro	Phonak	
56,0	56,0	56,0	n Anzahl	56,0	56,0	56,0	n Anzahl
168,0			N Gesamtanzahl	168,0			N Gesamtanzahl
1596,0	5704,0	6896,0	T Rangsummen	1596,0	4732,0	7868,0	T Rangsummen
45486,0	580993,1	849193,1	T ² /n	45486,0	399854,0	1105454,0	T ² /n
α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2	α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2
5,991	6,635	10,828		5,991	6,635	10,828	
17807352,4			H	18714178,8			H
3000,00	3000,00	3000,00		4000,00	4000,00	4000,00	
Alta	Antaro	Phonak		Alta	Antaro	Phonak	
56,0	56,0	56,0	n Anzahl	56,0	56,0	56,0	n Anzahl
168,0			N Gesamtanzahl	168,0			N Gesamtanzahl
1596,0	4732,0	7868,0	T Rangsummen	1596,0	7868,0	4732,0	T Rangsummen
45486,0	399854,0	1105454,0	T ² /n	45486,0	1105454,0	399854,0	T ² /n
α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2	α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2
5,991	6,635	10,828		5,991	6,635	10,828	
18714178,8			H	18714178,8			H
6000,00	6000,00	6000,00		8000,00	8000,00	8000,00	
Alta	Antaro	Phonak		Alta	Antaro	Phonak	
56,0	56,0	56,0	n Anzahl	56,0	56,0	56,0	n Anzahl
168,0			N Gesamtanzahl	168,0			N Gesamtanzahl
1596,0	4732,0	7868,0	T Rangsummen	7868,0	1738,0	4590,0	T Rangsummen
45486,0	399854,0	1105454,0	T ² /n	1105454,0	53940,1	376216,1	T ² /n
α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2	α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2
5,991	6,635	10,828		5,991	6,635	10,828	
18714178,8			H	18530887,9			H

Max NAL-NL2 Kruskal Wallis Test

250,00	250,00	250,00		500,00	500,00	500,00	
Alta	Antaro	Phonak		Alta	Antaro	Phonak	
56,0	56,0	52,0	n Anzahl	56,0	56,0	52,0	n Anzahl
164,0			N Gesamtanzahl	164,0			N Gesamtanzahl
7644,0	1596,0	4290,0	T Rangsummen	4941,0	1596,0	6993,0	T Rangsummen
1043406,0	45486,0	353925,0	T ² /n	435955,0	45486,0	940424,0	T ² /n
α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2	α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2
5,991	6,635	10,828		5,991	6,635	10,828	
17413399,76			H	17160443,13			H
750,00	750,00	750,00		1000,00	1000,00	1000,00	
Alta	Antaro	Phonak		Alta	Antaro	Phonak	
56,0	56,0	52,0	n Anzahl	56,0	56,0	52,0	n Anzahl
164,0			N Gesamtanzahl	164,0			N Gesamtanzahl
7304,0	1596,0	4630,0	T Rangsummen	7644,0	1596,0	4290,0	T Rangsummen
952650,3	45486,0	412248,1	T ² /n	1043406,0	45486,0	353925,0	T ² /n
α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2	α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2
5,991	6,635	10,828		5,991	6,635	10,828	
17021834,99			H	17413399,76			H
1500,00	1500,00	1500,00		2000,00	2000,00	2000,00	
Alta	Antaro	Phonak		Alta	Antaro	Phonak	
56,0	56,0	52,0	n Anzahl	56,0	56,0	52,0	n Anzahl
164,0			N Gesamtanzahl	164,0			N Gesamtanzahl
7644,0	1596,0	4290,0	T Rangsummen	4732,0	1596,0	7202,0	T Rangsummen
1043406,0	45486,0	353925,0	T ² /n	399854,0	45486,0	997477,0	T ² /n
α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2	α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2
5,991	6,635	10,828		5,991	6,635	10,828	
17413399,76			H	17413399,76			H
3000,00	3000,00	3000,00		4000,00	4000,00	4000,00	
Alta	Antaro	Phonak		Alta	Antaro	Phonak	
56,0	56,0	52,0	n Anzahl	56,0	56,0	52,0	n Anzahl
164,0			N Gesamtanzahl	164,0			N Gesamtanzahl
4867,0	1596,0	7067,0	T Rangsummen	2824,0	3504,0	7202,0	T Rangsummen
422994,4	45486,0	960432,5	T ² /n	142410,3	219250,3	997477,0	T ² /n
α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2	α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2
5,991	6,635	10,828		5,991	6,635	10,828	
17245533,51			H	16403123,73			H
6000,00	6000,00	6000,00		8000,00	8000,00	8000,00	
Alta	Antaro	Phonak		Alta	Antaro	Phonak	
56,0	56,0	52,0	n Anzahl	56,0	56,0	52,0	n Anzahl
164,0			N Gesamtanzahl	164,0			N Gesamtanzahl
4676,0	1652,0	7202,0	T Rangsummen	7644,0	4321,0	1565,0	T Rangsummen
390446,0	48734,0	997477,0	T ² /n	1043406,0	333411,4	47100,5	T ² /n
α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2	α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2
5,991	6,635	10,828		5,991	6,635	10,828	
17339029,02			H	17185228,02			H

Max DSL v5.0 Kruskal Wallis Test

250,00	250,00	250,00		500,00	500,00	500,00	
Alta	Antaro	Phonak		Alta	Antaro	Phonak	
56,0	56,0	52,0	n Anzahl	56,0	56,0	52,0	n Anzahl
164,0			N Gesamtanzahl	164,0			N Gesamtanzahl
4416,0	7644,0	1470,0	T Rangsummen	1596,0	4732,0	7202,0	T Rangsummen
348233,1	1043406,0	41555,8	T ² /n	45486,0	399854,0	997477,0	T ² /n
α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2	α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2
5,991	6,635	10,828		5,991	6,635	10,828	
17297230,6			H	17413399,8			H
750,00	750,00	750,00		1000,00	1000,00	1000,00	
Alta	Antaro	Phonak		Alta	Antaro	Phonak	
56,0	56,0	52,0	n Anzahl	56,0	56,0	52,0	n Anzahl
164,0			N Gesamtanzahl	164,0			N Gesamtanzahl
4732,0	1596,0	7202,0	T Rangsummen	4732,0	1596,0	7202,0	T Rangsummen
399854,0	45486,0	997477,0	T ² /n	399854,0	45486,0	997477,0	T ² /n
α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2	α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2
5,991	6,635	10,828		5,991	6,635	10,828	
17413399,8			H	17413399,8			H
1500,00	1500,00	1500,00		2000,00	2000,00	2000,00	
Alta	Antaro	Phonak		Alta	Antaro	Phonak	
56,0	56,0	52,0	n Anzahl	56,0	56,0	52,0	n Anzahl
164,0			N Gesamtanzahl	164,0			N Gesamtanzahl
7644,0	1658,5	4227,5	T Rangsummen	4732,0	1596,0	7202,0	T Rangsummen
1043406,0	49118,3	343687,6	T ² /n	399854,0	45486,0	997477,0	T ² /n
α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2	α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2
5,991	6,635	10,828		5,991	6,635	10,828	
17333655			H	17413399,8			H
3000,00	3000,00	3000,00		4000,00	4000,00	4000,00	
Alta	Antaro	Phonak		Alta	Antaro	Phonak	
56,0	56,0	52,0	n Anzahl	56,0	56,0	52,0	n Anzahl
164,0			N Gesamtanzahl	164,0			N Gesamtanzahl
1775,5	4552,5	7202,0	T Rangsummen	1596,0	4732,0	7202,0	T Rangsummen
56292,9	370093,9	997477,0	T ² /n	45486,0	399854,0	997477,0	T ² /n
α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2	α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2
5,991	6,635	10,828		5,991	6,635	10,828	
17184573,6			H	17413399,8			H
6000,00	6000,00	6000,00		8000,00	8000,00	8000,00	
Alta	Antaro	Phonak		Alta	Antaro	Phonak	
56,0	56,0	52,0	n Anzahl	56,0	56,0	52,0	n Anzahl
164,0			N Gesamtanzahl	164,0			N Gesamtanzahl
1596,0	4732,0	7202,0	T Rangsummen	7644,0	1596,0	4290,0	T Rangsummen
45486,0	399854,0	997477,0	T ² /n	1043406,0	45486,0	353925,0	T ² /n
α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2	α 5%	α 1%	α 0,1%	df=3-1=2
5,991	6,635	10,828		5,991	6,635	10,828	
17413399,8			H	17413399,8			H

B Anhang

ANTARO 

ANTARO Mini mit Tragehaken

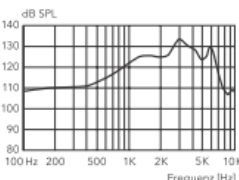
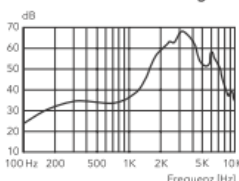
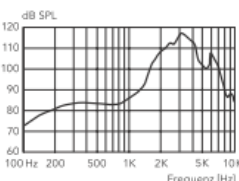
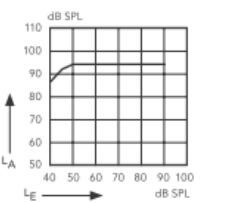


Messeinstellung

Falls bei den einzelnen Diagrammen nicht anders angegeben,
gelten die folgenden Einstellungen:
Adaptive Parameter: **aus**
Maximale Verstärkung (entspricht CONNEXX Testeinstellung)

Verwendete Normen

Ohrsimulatormessung **EN 60118-0: 1994**
2ccm-Kuppler-Messung **EN 60118-7: 2005**
ANSI-Standard (S3.22-2003)

Ohr-Simulator EN 60118-0: 1994	Technische Daten		2ccm-Kuppler ANSI-Standard (S3.22-2003) / EN 60118-7: 2005
Max. Ausgangsschalldruckpegel OSPL 90	Ausgangsschalldruckpegel [dB SPL]		Max. Ausgangsschalldruckpegel OSPL 90
	132 127 –	Scheitelwert 2500 Hz Mittelwert	123 – 117
	Verstärkung [dB] input: 50 dB SPL		
	65 64 – 52	Scheitelwert 2500 Hz Mittelwert Bezugsprüfverstärkung	57 – 44 40
	Frequenzbereich [Hz]		
	1.300 7.800	untere Grenzfrequenz obere Grenzfrequenz	125 8.400
Max. akustische Verstärkung	Totale harmonische Verzerrungen [%]		Max. akustische Verstärkung
	2,0 2,0 1,0	500 Hz 800 Hz 1600 Hz	1,0 2,0 1,0
	Äquivalentes Eigenrauschen [dB]		
	13		23
Norm. akustische Wiedergabe- kurve	Hörspulenempfindlichkeit [dB SPL]		Norm. akustische Wiedergabe- kurve
	– – – –	Scheitelwert 2500 Hz MASL (60118-7) ETLS (60118-7) HFA-SPLITS (ANSI)	– – – –
	Totale harmonische Verzerrungen der Hörspule [%] Eingang: 100mA/m		
	– – –	500 Hz 800 Hz 1600 Hz	– – –
	Batterietyp		
	312		312
	Batteriespannung [Volt]		
	1,35		1,35
	Batteriestromverbrauch [mA]		
	0,9		0,9
	Eingangsempfindlichkeit des Audioeingangs [mV]		
	–		–
	AGC-O Einschwing- und Ausschwingzeit [ms]		
	– –	Einschwingzeit Ausschwingzeit	40 100
	Stationäres Eingangs-Ausgangs- verhalten der AGC		
			

 **HANSATON**
hearing & emotions

Hansaton Akustik GmbH · Sachsenkamp 5 · 20097 Hamburg · Germany · www.hansaton.de

MINI BTE 85 OTICON ALTA PRO OTICON ALTA

85



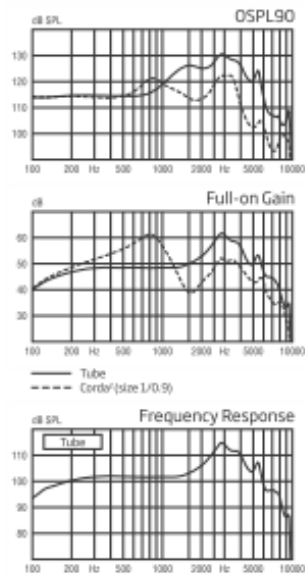
Scale 1:1

Technical Information
 Omnidirectional mode is used unless otherwise stated.

Oticon | Alta

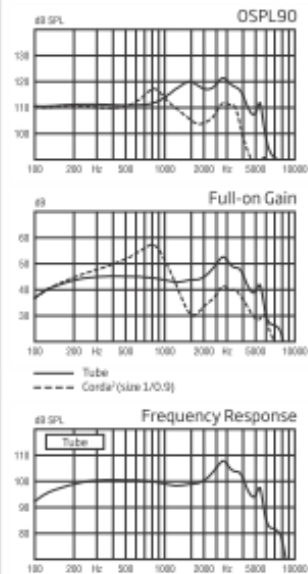
EAR SIMULATOR

Measured according to
 IEC 60318-0 (1983) and 60711 (1981)
 and DIN 45605.



2CC COUPLER

Measured according to
 ANSI S3.22 (2003) and S3.7 (1995),
 IEC 60118-7 (2005) and IEC 60318-5 (2006).



OSPL90	Peak	131 (122*) dB SPL	121 (117*) dB SPL
	1600 Hz	126 (114*) dB SPL	120 (105*) dB SPL
	Average	119 (116*) dB SPL	118 (109*) dB SPL
Full-on gain	Peak	62 (61*) dB	53 (57*) dB
	1600 Hz	50 (39*) dB	44 (30*) dB
	Average	50 (52*) dB	46 (40*) dB
Reference test gain		43 dB	41 dB
Frequency range		100-8500 Hz	100-7500 Hz
Telecoil output (1600 Hz)	1 mA/m field	-	-
	10 mA/m field	-	-
	SPLITS L/R	-	-
Total harmonic distortion	500 Hz	0.9 %	0.7 %
	800 Hz	1.2 %	1.0 %
	1600 Hz	0.4 %	0.2 %
Equivalent input noise level (A)	Omni	22 dB SPL	17 dB SPL
	Dir	29 dB SPL	25 dB SPL
Battery consumption	Quiescent	1.0 mA	1.0 mA
	Typical	1.1 mA	1.2 mA

Battery life, calculated, hours**

130

Size 312 (IEC PR41)

IRIL (IEC 60118-13-2011)

800/1400/2000 MHz: <18/24/36 dB SPL

(*) For instruments fitted with Corda²

**) Based on the standardised battery consumption measurement. The actual battery life depends on battery quality, use pattern, active feature set, hearing loss and sound environment



Technische Daten

Phonak Bolero Q-M312 (Q90/Q70/Q50) (HE10 680)

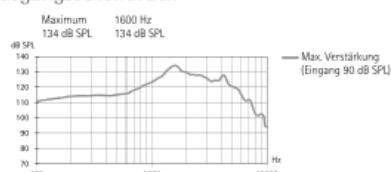
Warnung an die Hörgeräte-Akustiker:
Dieses Hörsystem hat einen Ausgangsschalldruck, der 132 dB SPL übersteigen kann. Lassen Sie beim Anpassen dieses Gerätes besondere Vorsicht walten, da das Risiko einer Verletzung der Resthörigkeit des Benutzers besteht.

Sofern nicht anders angegeben, wurden alle Messungen mit Winkel HE10 680 in Phonak Target Messeinstellung durchgeführt.

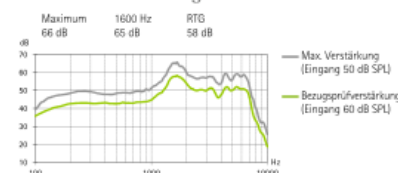
Ohr-Simulator-Daten

EN / IEC 60118 und IEC 60711

Ausgangsschalldruck



Akustische Verstärkung



Frequenzbereich	<100 Hz - 7200 Hz		
Totale harmonische Verzerrung	500 Hz	800 Hz	1600 Hz
	3%	4%	1.5%
Batteriestrom	Ruhe	Betrieb	
	1.1 mA	1.2 mA	
Äquivalentes Eingangsrauschen	19 dB SPL		

Dynamische Daten

Kompression	Einschwingzeit	Ausschwingzeit
	10 ms	50 ms

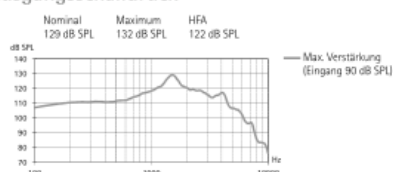
Phonak Bolero Q

Hinweis: Messungen von digitalen Hörsystemen mit Sinustönen können einen welligen Frequenzgang zur Folge haben. Dieses Artefakt ist auf die Verwendung eines schmalbandigen Eingangssignals zurückzuführen und spiegelt nicht die tatsächliche Leistung bei breitbandigen Eingangssignalen wider.

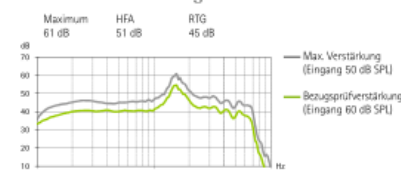
2cm³ Kuppler-Daten

ANSI S3.22-2009

Ausgangsschalldruck



Akustische Verstärkung

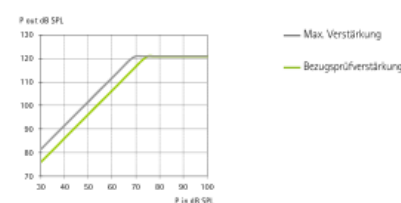


Frequenzbereich	<100 Hz - 7300 Hz		
Totale harmonische Verzerrung	500 Hz	800 Hz	1600 Hz
	3%	4%	1,5%
Batteriestrom	Ruhe	Betrieb	
	1.1 mA	1.2 mA	
Äquivalentes Eingangsrauschen	19 dB SPL		

Dynamische Daten

Kompression	Einschwingzeit	Ausschwingzeit
	10 ms	50 ms

Ein-/Ausgangs-Charakteristik bei 2000 Hz



PHONAK

Erklärung

„Ich versichere, dass ich die Thesis selbstständig verfasst, keine anderen, als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, sowie alle wörtlich oder sinngemäß übernommenen Stellen in der Arbeit gekennzeichnet habe. Die Arbeit wurde noch keiner Kommission zur Prüfung vorgelegt und verletzt in keiner Weise Rechte Dritter.“

Datum, Ort

Unterschrift